

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

Atti del XIX convegno S.I.R.F.I. "Gestione delle malerbe nelle colture agrarie alla luce delle attuali problematiche legislative, agronomiche e ambientali"

This is the author's manuscript

Original Citation:

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/144632> since

Publisher:

SIRFI

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

**SOCIETÀ ITALIANA PER LA RICERCA SULLA FLORA INFESTANTE
S.I.R.F.I.**

atti

Gestione delle malerbe nelle colture agrarie alla luce delle attuali problematiche legislative, agronomiche e ambientali

BOLOGNA, 17 DICEMBRE 2013

Convegno organizzato in collaborazione con le “Giornate Fitopatologiche”

**SOCIETÀ ITALIANA PER LA RICERCA SULLA FLORA INFESTANTE
S.I.R.F.I.**

atti

Gestione delle malerbe nelle colture agrarie alla luce delle attuali problematiche legislative, agronomiche e ambientali

a cura di

FRANCESCO VIDOTTO, FERNANDO DE PALO e ALDO FERRERO

BOLOGNA, 17 DICEMBRE 2013

Convegno organizzato in collaborazione con le “Giornate Fitopatologiche”

Citazione suggerita:

Vidotto F, De Palo F, Ferrero A. editors 2013. Atti del XIX convegno S.I.R.F.I. “Gestione delle malerbe nelle colture agrarie alla luce delle attuali problematiche legislative, agronomiche e ambientali”, 17 dicembre 2013, Bologna, Italy. 157 p.

Stampato da:

Tipografia Fiordo s.r.l., Galliate (NO), Italy

ISBN 978-88-95616-05-6

ISBN editor: SIRFI

*Tu vedi certe cose
e ti chiedi “Perché?”
io invece sogno cose mai viste
e mi chiedo “Perché no?”*

George Bernard Shaw

ATTI DEL XIX CONVEGNO S.I.R.F.I.
“Gestione delle malerbe nelle colture agrarie alla luce delle attuali
problematiche legislative, agronomiche e ambientali”
Bologna, 17 dicembre 2013

INDICE

Presentazioni Orali

Evoluzione delle tecniche e degli indirizzi colturali ed effetti sulle malerbe <i>Ferrero A., Maggiore T., Milan M., Zanin G.</i>	1
Effetti del cambiamento climatico sulla dinamica evolutiva delle malerbe <i>Vidotto F., Masin R., Pannacci E., Mariani L.</i>	29
La diversità nei sistemi colturali per la gestione delle malerbe resistenti di più difficile controllo <i>Sattin M., Collavo A., Panozzo S., Scarabel L.</i>	57
Evoluzione della disponibilità di erbicidi <i>Geminiani E., Campagna G.</i>	69
Caso studio sulle dinamiche evolutive della vegetazione infestante e sulla gestione integrata: il caso del mais <i>Bartolini D., Allegri A.</i>	107
Caso studio sulle dinamiche evolutive della vegetazione infestante e sulla gestione integrata: il caso del frumento <i>Allegri A., Bartolini D.</i>	121
Caso studio delle dinamiche evolutive della vegetazione infestante e sulla gestione integrata: il caso della <i>Phelipanche ramosa</i> (L.) Pomel nel pomodoro da industria nella Capitanata <i>Montemurro P., Fracchiolla M.</i>	137
Caso studio delle dinamiche evolutive della vegetazione infestante e sulla gestione integrata: il caso delle colture arboree <i>Montemurro P., Miravalle R.</i>	149

EVOLUZIONE DELLE TECNICHE E DEGLI INDIRIZZI COLTURALI ED EFFETTI SULLE MALERBE

FERRERO A.¹, MAGGIORE T.², MILAN M.¹, ZANIN G.³

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari - Università di Torino

² Agronomo, già Professore dell'Università di Milano

³ Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente – Università di Padova

E-mail: aldo.ferrero@unito.it

Riassunto

Nel secondo dopoguerra l'agricoltura italiana ha conosciuto un'importante evoluzione nella gestione agronomica e negli indirizzi colturali, legata allo sviluppo tecnologico e ai numerosi provvedimenti normativi finalizzati alla protezione della salute dell'uomo e alla tutela dell'ambiente. In questi ultimi anni, in particolare, i sistemi colturali sono apparsi sempre più specializzati, allo scopo di migliorare l'efficienza della produzione agricola e ridurre i costi gestionali. Questi obiettivi hanno riguardato tutte le varie fasi del processo produttivo, dalla scelta colturale, alla gestione del suolo e alla difesa fitosanitaria, tenuto anche conto delle possibili destinazioni delle produzioni agrarie agli usi non alimentari. Particolarmente significativi sono stati gli effetti diretti ed indiretti di questi nuovi indirizzi sulle caratteristiche degli inerbimenti nelle colture agrarie. La comparsa di nuove emergenze fitosanitarie, il divieto d'impiego di molecole erbicide a seguito dell'introduzione di nuove normative europee sugli agrofarmaci, la crescente diffusione di fenomeni di resistenza ai diserbanti e l'adozione di una politica agricola sempre più attenta alla problematiche ambientali sono solo alcuni esempi di come l'evoluzione degli indirizzi colturali abbia reso sempre più articolata e complessa la gestione della vegetazione infestante.

Parole chiave

Sistemi Colturali; Colture da Energia; Evoluzione Piante Infestanti; Gestione Piante Infestanti; Gestione Resistenza; Fasce Tampone, *Greening*.

Summary

In the period after world war II Italian agriculture had been characterized by an important evolution in agronomic practices and cropping system policies mostly related to the technological development and numerous regulations aimed at human health and environment protection. In the very last years, in particular, cropping systems have become more and more specialized, both to improve efficiency and reduce management costs. All these objectives have been related to main steps of production process, from the crop choice, to the soil management and crop protection, also taking into account the possible destination of the crop productions to no-food uses. Particularly important have been the direct and indirect effects of these new options on the features of weed infestations in cropping systems. The appearance of new pest issues, the ban of several herbicides due to the introduction of new EU pesticide regulations, the spreading of herbicide weed resistance and the adoption of agricultural policies increasingly careful to environment issues are only some examples of how the evolving process of cropping systems have made weed management more and more complex and problematic.

Keywords

Cropping systems, energy crops, weed shift, weed management, resistance management, buffer strips, greening.

- 1 - Introduzione
- 2 - Stato attuale dell'agricoltura in Italia
 - 2.1 Zootecnica
 - 2.2 Cereali
 - 2.3 Colture industriali
 - 2.4 Orticoltura per il mercato fresco
 - 2.5 Orticoltura per l'industria conserviera
 - 2.6 Foraggere
 - 2.7 Vite e fruttiferi
- 3 - Cambiamenti nella tecnica agronomica
 - 3.1 Lavorazioni del terreno
 - 3.2 Gestione della resistenza
 - 3.3 Epoca e densità di semina
 - 3.4 Gestione delle problematiche fitopatologiche
 - 3.5 Scelta varietale
 - 3.6 Avvicendamento colturale
 - 3.7 Colture energetiche
- 4 - Aspetti normativi
 - 4.1 Fasce tampone ed altre aree di protezione
 - 4.2 Greening
 - 4.3 Altri vincoli normativi
- 5- Conclusioni

1 Introduzione

Il convegno della Società Italiana di Agronomia tenutosi nel 2013 ha avuto come titolo “Intensificazione sostenibile della produzione agricola e sicurezza alimentare”, un titolo suggestivo, provocatorio, un vero e proprio ossimoro; è difficile infatti, combinare l'aumento della produzione con la sostenibilità. Eppure è questa la sfida che abbiamo davanti. Si prevede che nel 2050 la popolazione del nostro pianeta raggiungerà 9 miliardi di persone e che soprattutto il maggior consumo di grassi e proteine animali da fasce crescenti della popolazione mondiale metterà sotto stress la capacità produttiva del sistema. La produzione di cereali e raccolti agricoli dovrà aumentare, secondo la FAO, del 70% da oggi al 2050. Per questo scopo serve un aumento annuale costante del 38% della produzione di cereali. Sempre la FAO prevede che il 90% dell'aumento della

produttività proverrà dall'intensificazione dei sistemi produttivi agricoli, più che dalla messa a coltura di nuove terre. Dagli anni '60 ad oggi l'aumento delle rese si è mantenuto pressoché costante, con incrementi produttivi per circa il 30% dovuti al miglioramento genetico. Mantenere il *trend* di crescita lineare non è sufficiente per fronteggiare la sfida alimentare; bisogna attivare processi produttivi altamente efficienti, combinando l'uso intensivo delle risorse con quello intelligente dell'innovazione tecnologica, in modo da trarre il più elevato livello produttivo, ottenere il massimo profitto e salvaguardare l'agroecosistema.

In questi ultimi anni all'intensificazione colturale è, in molti casi, corrisposta anche una importante modifica delle pratiche agronomiche. Nello stesso periodo si è altresì assistito all'adozione di normative, prevalentemente finalizzate alla tutela della salute dell'uomo e alla protezione dell'ambiente, che hanno portato ad una consistente riduzione di molecole erbicide, con una sempre più limitata differenziazione dei meccanismi di azione.

Le variazioni nelle pratiche e negli indirizzi colturali possono avere una importante influenza sulla composizione quali-quantitativa degli inerbimenti delle colture agrarie.

Merita ricordare, a questo riguardo che, nella Pianura Padana, il tasso annuale di trasformazione, rappresentato dalla scomparsa di specie esistenti e dalla introduzione di nuove specie e calcolato con l'indice di Guillermin et al. (1989), ha fatto registrare, nel periodo compreso tra il 1960 e il 1990, valori di circa il 4% (Striscia Fioretti et al., 1998).

2 Stato attuale dell'agricoltura in Italia

Le caratteristiche più significative dell'agricoltura moderna sono principalmente rappresentate dalla elevata specializzazione produttiva e dalla forte integrazione dei mercati, dove si vende tutto il prodotto e si acquistano i mezzi tecnici per la produzione. Questa situazione è legata alle particolarità che hanno caratterizzato in questi ultimi tempi il sistema produttivo agricolo, principalmente rappresentate da una forte dipendenza dal mercato, necessità di adeguare la gestione aziendale alle variabili esigenze del mercato, dalla necessità di una elevata capacità imprenditoriale per ottenere sempre maggiori rese produttive, dalla richiesta di un alto input energetico e dal rischio di impatto sull'ambiente legato all'applicazione di alcune pratiche agricole.

L'agricoltura moderna, inoltre, almeno per le grandi colture cerealicole e proteaginose, ma anche per i prodotti dell'allevamento del bestiame, presentandosi con un numero elevato di imprese si trova in un regime di concorrenza perfetta. In queste condizioni il prezzo del prodotto si determina sempre al punto di incontro delle curve della domanda e dell'offerta, ma non è in grado di influenzare, né di essere influenzato, dal prezzo dei mezzi tecnici, che provengono da fornitori praticamente oligopolisti. Un'altra considerazione da tener presente riguarda la sostanziale rigidità

della domanda dei prodotti agricoli, per cui all'aumentare dell'offerta si ha sempre una diminuzione di prezzo e all'aumento del costo dei mezzi tecnici non corrisponde sempre un aumento del prezzo dei prodotti agricoli.

Per un quadro un po' più dettagliato dello stato dell'agricoltura, di seguito si prendono in considerazione i principali settori del sistema produttivo.

2.1 Zootecnia

La zootecnia si è gradualmente concentrata negli areali più vocati, in particolare in alcune regioni del nord, con l'eccezione dell'allevamento della bufala in Campania e degli ovini in Sardegna. Il 40% del latte vaccino italiano e il 60% dei suini sono prodotti nelle aree di pianura della Lombardia. La produzione avicola è prevalentemente concentrata in Veneto, Lombardia e Emilia. Tutti gli allevamenti avicoli e in parte quelli suinicoli sono condotti più secondo criteri industriali che agricoli. Sono, infatti in generale, organizzati con un'integrazione verticale, dove a monte si trova il mangimista, che è anche il fornitore dei capi da allevare e della consulenza; al centro si pone l'allevatore, proprietario delle strutture per l'allevamento e responsabile della gestione degli effluenti dell'allevamento, mentre a valle è presente una società, in genere di proprietà dello stesso mangimista, che si occupa della commercializzazione della produzione.

Non vi è più un preciso rapporto tra superficie aziendale e peso vivo allevato, questo è il caso degli allevamenti avicoli o suinicoli dove quasi sempre tutto l'alimento proviene dall'esterno dell'azienda, ma anche di quelli bovini, da latte o da carne, nei quali sono di provenienza aziendale solo i foraggi di base, mentre il mangime concentrato e sovente la ridotta quota di fieno impiegata nella razione, sono forniti dall'esterno.

Si può affermare che gran parte della zootecnia attuale è impostata sulla trasformazione del mais (granella e trinciato integrale) e della soia, mentre la quota di foraggio per i ruminanti è sempre più limitata. Il foraggio, dato l'elevato livello produttivo delle vacche (spesso superiore a 10 tonnellate di latte per vacca in 305 giorni di lattazione) deve essere di alta qualità; grande importanza viene attribuita al basso contenuto di NDF, per poter aumentare la velocità di transito ruminale dell'alimento. Il foraggio che presenta queste caratteristiche è soprattutto quello di erba medica, che difficilmente può essere prodotto e ottenuto secondo le tecniche tradizionali. Puntando alla qualità elevata l'erba medica tende a venire considerata sempre più una coltura di tipo "industriale" da destinare alla disidratazione.

La zootecnia da latte e da carne è sempre più legata al sistema colturale da due elementi, la produzione del silomais o del mais da granella ed eventualmente della soia, a seconda dei prezzi della proteaginosa e dalla innovazione applicabile, e la gestione degli effluenti dell'allevamento.

L'allevatore, per entrambi gli elementi, non avrà più interesse ad intervenire direttamente tenendo un parco macchine difficilmente ammortizzabile e che nel breve tempo diventa obsoleto, ma tenderà a rivolgersi ad un contoterzista, "agromeccanico", in grado di gestire il terreno e la coltura (dalla scelta dell'ibrido o della varietà, alla decisione di quando raccogliere e insilare per garantire la qualità desiderata dall'allevatore). In queste condizioni per quanto riguarda gli effluenti si pone l'esigenza di effettuare la distribuzione su superfici di terreno superiori a quelle di proprietà dell'allevatore, al fine di consentire di ampliare l'allevamento, per ragioni di economie di scala, indipendentemente dal rapporto tra numero di capi allevati e superficie aziendale. Questo rapporto andrebbe considerato non più a scala aziendale, bensì a livello comprensoriale.

2.2 Cereali

L'abbandono della zootecnia e la conseguente riduzione delle colture foraggere (prati avvicendati e erbai) ha stimolato la diffusione della omosuccessione di alcune colture cerealicole, in particolare di grano duro nel sud e nel centro Italia e del mais nel nord. Nel sud del paese, inoltre, questa tendenza è stata favorita ulteriormente dalla perdita di interesse economico per la fava, la più diffusa coltura da rinnovo in quegli areali.

Attualmente si comincia ad assistere ad una nuova organizzazione delle filiere con il tentativo di creare partite di grandi dimensioni, con elevato livello sanitario, con uniformi caratteristiche qualitative e "tracciate" per poter soddisfare le esigenze degli acquirenti diretti utilizzatori (mangimifici, mulini, pastifici, malterie, amiderie, industrie dei polimeri).

In diverse regioni italiane la gestione colturale è affidata integralmente ad agromeccanici, ancora poche volte assistiti da idonei consulenti capaci di impostare razionalmente tutte le scelte tecniche, tenendo conto delle esigenze dell'utilizzatore finale e della sostenibilità economica e ambientale.

Si è certi che in futuro, anche se l'azione politica attuale non favorisce l'orientamento sopra delineato, il comparto sarà gestito da Organizzazioni di Produzione (OP) di sempre maggiori dimensioni coinvolgendo anche, ove presenti, gli stocicatori che oggi sono presenti solo nella parte finale della filiera o anche in quella a monte come fornitori di tutti o di alcuni mezzi tecnici.

2.3 Colture industriali

In questi ultimi anni si è assistito ad una importante contrazione delle superfici investite ad alcune colture industriali quali barbabietola da zucchero e tabacco. Colture quali girasole, colza e soia, hanno mantenuto un significativo interesse trovando inserimento, analogamente alla barbabietola, negli avvicendamenti colturali con cereali vernini consentendo in tal modo un miglior controllo delle infestanti.

Il colza e la soia non hanno avuto il successo atteso; per quest'ultima, in particolare non vi è stata l'innovazione necessaria per consentire di competere con paesi in cui i livelli produttivi ed i costi di produzione risultano più favorevoli. Un possibile sviluppo della bietola è legato alla sua utilizzazione a fini energetici (biodigestori), anche se il costo di produzione e le difficoltà nella conservazione sollevano qualche perplessità in merito a questa utilizzazione.

2.4 Orticoltura per il mercato fresco

Fino agli anni '60 del XX secolo la produzione orticola per il mercato fresco era prevalentemente legata agli orti aziendali, familiari o periurbani. Questi ultimi, erano in genere di piccole e medie dimensioni e richiedevano moltissima manodopera. Le aree produttive specializzate erano poco diffuse e tra le più significative figuravano quelle di Asti, Chioggia, Albenga, agro Nocerino Sarnese, agro Siracusano. Oggi gli orti periurbani sono praticamente scomparsi e quelli aziendali si sono fortemente ridotti. Gran parte dell'orticoltura per il mercato fresco (nazionale e straniero) è attualmente di tipo specializzato. Le colture protette, come quelle di pieno campo, per la produzione di primizie o tardizie si sono localizzate nelle aree climaticamente e pedologicamente più idonee. Negli ultimi 10 anni, stimolati anche dalla grande distribuzione organizzata (GDO), lo sviluppo dei prodotti per la IV gamma ha favorito la diffusione di colture specializzate in alcune aree o vicine alle grandi aree di consumo (Bergamo, Brescia) o in quelle ove le produzioni si ottengono con costi più ridotti e tali da compensare i maggiori costi di trasporto (Salerno).

2.5 Orticoltura per l'industria conserviera

Per industria conserviera si intende quella per la produzione di appertizzati, di surgelati, di liofilizzati. Negli anni '60, in Italia, erano presenti molte piccole industrie dislocate in diversi areali e solitamente prossime alle zone di produzione, in gran parte localizzate in Emilia Romagna e in Campania. Ad esempio, nella provincia di Piacenza prima della creazione della De Rica (1996) erano presenti circa 30 piccoli stabilimenti, sparsi in altrettanti paesi della pianura, che lavoravano quasi esclusivamente pomodoro da concentrato.

Attualmente le colture orticole industriali hanno visto aumentare la loro superficie e nelle aree più idonee trovano inserimento negli avvicendamenti colturali insieme ai cereali.

Al modificarsi dell'industria conserviera (sempre di maggiori dimensioni) si è assistito allo sviluppo di imprese agricole molto specializzate, non sempre localizzate in vicinanza dell'industria: ad esempio per la coltivazione del pomodoro (Puglia e Emilia-Romagna), del pisello e fagiolo (Lombardia e Emilia), del carciofo (Puglia e Sardegna), del finocchio (Puglia).

In Puglia, ma anche in Emilia-Romagna si sono sviluppate aziende specializzate, capaci di ottenere, ancor prima di avviare le colture, contratti di fornitura e che gestiscono 300-600 ha di pomodoro, 200-300 ha di peperone, 400-500 ha di carciofo su terreni presi in affitto, applicando tecnologie avanzate (pacciamatura, irrigazione a goccia, fertirrigazione, controllo accurato dei parassiti).

Nella coltivazione del pisello, del fagiolino e del mais dolce il contoterzista ha assunto spesso l'incarico di gestire l'intero ciclo della coltura, occupandosi di tutte le principali pratiche colturali.

2.6 Foraggiere

La SAU interessata dalle colture foraggiere è pari a 6,6 milioni di ha (INEA, 2011) dei quali circa il 70% rappresentato da pascoli e prati permanenti. I medicai sono le colture foraggiere avvicendate più diffuse con una superficie di 750.000 ha, concentrati soprattutto nelle zone della Pianura Padana. Nell'Italia centrale e meridionale risultano maggiormente diffuse altre leguminose quali la sulla e la lupinella. Superfici importanti sono destinate ad erbai (circa 650.000 ha), prati avvicendati polifiti (circa 200.000 ha) o a coltivazioni di mais ceroso e sorgo da erbaio-silo (circa 340.000 ha) (Campagna et al., 2013; INEA, 2011).

Le colture foraggiere necessitano di una gestione colturale finalizzata ad una produzione con caratteristiche qualitative elevate e il più possibile costanti nel tempo. A questo riguardo va tenuto presente che la qualità del foraggio è fortemente influenzata dalle condizioni di sviluppo della coltura e dagli stress competitivi e nutrizionali a cui può andare incontro. In tal senso è fondamentale garantire un adeguato controllo delle avversità biotiche che possono interferire con il raggiungimento degli obiettivi produttivi della coltura. Nel caso della medica la lotta alle piante infestanti è fondamentale per garantire un ottimale sviluppo della coltura nelle prime fasi, quando questa è poco competitiva, e soprattutto per aumentare la longevità dell'impianto nel tempo. La tecnica del diserbo è divenuta essenziale nei nuovi impianti al fine di garantire un buon insediamento della coltura, ma anche in quelli in produzione per evitare uno scadimento qualitativo del foraggio. Queste considerazioni sono particolarmente importanti nel caso di medicai destinati alla disidratazione o per la produzione di seme. Nel caso di avvicendamenti cereale vernino-medica oppure in appezzamenti dedicati alla produzione di seme, dove non è tollerata la presenza di infestanti graminacee, occorre cercare di prevenire e se necessario gestire i problemi di resistenza ad alcuni prodotti (soprattutto inibitori dell'ACC-asi) che possono sorgere. In presenza di popolazioni di *Lolium* spp. resistenti può essere utile eseguire degli sfalci prima della fioritura (Campagna et al., 2013; INEA, 2011).

2.7 Vite e fruttiferi

In molti areali (Puglia, Sicilia e Lazio) la coltivazione della vite per la produzione di uva da tavola è effettuata da aziende molto specializzate, di grandi dimensioni, alcune delle quali anche esportatrici. In queste realtà la gestione è spesso affidata a contoterzisti anche per le operazioni colturali di potatura e per la raccolta.

Anche la viticoltura per la produzione di uva da vino è sempre più specializzata. In molte aree di pregio come ad esempio in Franciacorta (BS) la gestione della coltura è demandata quasi esclusivamente a contoterzisti per effettuare operazioni quali lavorazioni del terreno, concimazione, diserbo, potatura verde e secca, trattamenti antiparassitari e raccolta, e viene frequentemente richiesta la consulenza di agronomi specialisti.

Nel caso delle colture da frutto, in questi anni si è assistito ad una crescente concentrazione dell'offerta (consorzi Melinda, Marlene, Mela Rossa di Cuneo, pere, pesche e nettarine dell'Emilia Romagna solo per indicarne alcuni) e ad una diffusione delle filiere integrate legate alla grande distribuzione organizzata (GDO), con una forte influenza di queste ultime sulle scelte e sulle strategie gestionali.

In altre colture, quali olivo, mandorlo e nocciolo, le operazioni colturali sono sempre più frequentemente gestite da agromeccanici che spesso provvedono ad organizzare le potature, i trattamenti fitosanitari e le operazioni di raccolta quando meccanizzabili.

3 Cambiamenti nella tecnica agronomica

Nell'ultimo secolo l'agricoltura ha conosciuto una radicale trasformazione, frutto dello sviluppo industriale e tecnologico. Tale trasformazione ha permesso di incrementare fortemente la produttività agricola semplificando al contempo la gestione colturale e migliorando le condizioni di lavoro degli operatori agricoli. L'intensificazione agricola ha però evidenziato nel tempo anche alcuni limiti principalmente legati ad una serie di esternalità negative che si sono manifestate con fenomeni di inquinamento dei vari comparti ambientali, di riduzione della biodiversità e di desertificazione. Queste problematiche di natura ambientale sono tuttora ampiamente studiate in ragione soprattutto degli impatti che hanno sulla salute pubblica.

I cambiamenti che nel corso degli ultimi decenni hanno interessato la gestione delle colture hanno tuttavia evidenziato un'influenza importante anche sull'evoluzione della comunità di malerbe e sulle strategie per il loro controllo.

3.1 Lavorazioni del terreno

Le lavorazioni del terreno rappresentano la pratica culturale che più di tutte è in grado di influenzare lo sviluppo delle malerbe, la loro dinamica evolutiva, la loro composizione in termini di rapporti tra i diversi gruppi biologici ed ecofisiologici (*sensu* Montegut) e la persistenza dei propaguli. Arare o non arare il terreno, arare in superficie o in profondità, lavorare il terreno con modalità differenti può creare situazioni ecologiche diverse in grado di influenzare le future infestazioni (Trichard et al., 2013).

La diffusione dell'agricoltura conservativa rappresenta da questo punto di vista un elemento che può portare a significativi cambiamenti a livello malerbologico a causa degli effetti combinati di tutti i vari adattamenti nella gestione culturale legati all'applicazione di questa pratica. Se non si rivolta la fetta, la superficie del terreno resta più o meno ingombra di residui culturali e cambia la distribuzione dei semi lungo il profilo; aumenta altresì la presenza di specie ruderali tipiche del biotopo agricolo portate dagli uccelli frugivori. In queste condizioni il controllo chimico si sposta verso l'uso di erbicidi ad azione fogliare usati sia per pulire il letto di semina in sostituzione della lavorazione, sia come successiva misura di contenimento a coltura emersa e le semine sono mediamente più tardive per la maggior umidità del terreno, che riduce il riscaldamento dello stesso. Tutto questo evidenzia che il controllo delle malerbe nell'agricoltura conservativa è necessariamente molto diverso da quello nell'agricoltura tradizionale basata sull'aratura. La sostituzione del mezzo meccanico con quello chimico determina poi, almeno nei primi anni, un maggiore uso di erbicidi, con possibilità di sviluppo di resistenze.

La lotta alle malerbe va quindi adeguata, in termini di *timing* degli interventi e di scelta delle molecole, con una generale minore flessibilità di intervento.

I vantaggi riscontrati con lavorazioni conservative sono numerosi, ma per ottenere produzioni costantemente elevate con questa tecnica, almeno nel nostro paese, devono ancora essere affinati due segmenti importanti della tecnica culturale, la semina e la gestione delle malerbe. E' possibile ipotizzare che nell'ambito della nuova PAC in via di attuazione, tutte le pratiche volte alla conservazione della fertilità dei suoli verranno ulteriormente incentivate, favorendo semine in assenza di lavorazioni o comunque con lavorazioni molto ridotte.

3.2 Gestione della resistenza

La comparsa di fenomeni di resistenza delle piante infestanti agli erbicidi è iniziata a partire dagli anni '80. I primi casi di resistenza hanno interessato popolazioni di *Solanum nigrum*, *Chenopodium album* e *Amaranthus* spp. nei confronti delle triazine (ISHRW, 2013). La resistenza ha in questi

ultimi anni riguardato altri gruppi di erbicidi: gli inibitori dell'acetolattato-sintetasi (ALS), dell'acetil coenzima A carbossilasi (ACC-asi) e dell'enol piruvil scichimato sintetasi (EPSP). In particolar modo la sottofamiglia delle sulfoniluree comprende un numero relativamente grande di principi attivi molto efficaci e attualmente impiegati nel diserbo di diverse colture. Nel nostro paese le prime segnalazioni di fenomeni di resistenza agli erbicidi inibitori dell'ALS sono state registrate a partire dagli anni '90 ed hanno riguardato alcune delle specie infestanti più diffuse in risaia (es. *Alisma plantago-aquatica* e *Cyperus difformis*) e nei cereali vernini (*Papaver rhoeas*, *Lolium multiflorum*, *Sinapis arvensis*). In anni più recenti sono stati segnalati casi di resistenza agli erbicidi inibitori dell'ALS in *Amaranthus retroflexus* ed *Echinochloa crus-galli*. Più recente (2011) è la comparsa di popolazioni di *Conyza canadensis* resistenti al glifosate (GIRE, 2013). Si stima, in base ad una indagine condotta dal GIRE (Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi), che la superficie interessata dalla presenza di popolazioni resistenti di *Cyperus difformis*, *Schoenoplectus mucronatus* e *Alisma plantago-aquatica* nell'areale risicolo sia di almeno 35.000 ha, e che il fenomeno sia in continua espansione (Rapparini et al., 2012).

Gli erbicidi inibitori dell'ALS sono caratterizzati da bassa dose di impiego, semplicità d'uso e rappresentano uno strumento fondamentale per il controllo non solo delle infestanti Ciperacee, Alismataceae e Butomaceae della risaia, ma vengono largamente impiegati anche per il controllo di *Sorghum halepense* (da seme e da rizoma) e di altre graminacee difficili del mais, per la lotta contro le infestanti dicotiledoni del frumento, e contro numerose malerbe della soia.

La diffusione del fenomeno della resistenza trova la sua principale causa nella ridotta disponibilità, per alcune colture, di erbicidi caratterizzati da diverso meccanismo di azione; questa situazione comporta spesso l'utilizzo ripetuto sullo stesso appezzamento e nelle diverse stagioni colturali, di prodotti con azione simile, determinando una notevole pressione di selezione sulle infestanti. Le problematiche connesse all'espansione del fenomeno della resistenza hanno portato allo sviluppo di strategie di lotta alternative, innovative o al ritorno a pratiche colturali in precedenza abbandonate. In alcuni casi si è assistito anche al riutilizzo, proprio in chiave antiresistenza, di prodotti esclusi dall'allegato I del Regolamento (CE) N. 1107/2009. A questo proposito meritano di essere citati i casi di propanile e quinclorac per il diserbo del riso e del clortoluron per quello del frumento.

I cereali autunno-vernini rappresentano un caso emblematico. Il diserbo preventivo di questi cereali, pratica un tempo molto diffusa nel nostro paese, è stata progressivamente abbandonata a favore degli interventi di post-emergenza. Diversi fattori hanno determinato questo cambiamento di strategia di intervento. In primo luogo la limitata disponibilità di erbicidi ad azione residuale e l'assenza di controllo nei confronti di alcune infestanti chiave (*Avena sterilis* e *Galium aparine*) e delle specie perennanti. Occorre inoltre tenere presente che la possibilità di controllare le

infestazioni per mezzo di un solo intervento eseguito in post-emergenza ha permesso una certa semplificazione delle operazioni colturali. Di contrasto però il ricorso a soli trattamenti di post-emergenza, spesso mediante l'utilizzo continuato di prodotti con il medesimo meccanismo di azione, ha favorito la comparsa di fenomeni di resistenza. Il diserbo preventivo è tornato ad essere di notevole interesse per il controllo delle popolazioni di infestanti resistenti ai graminicidi di post-emergenza. In tale contesto è da segnalare l'uso crescente di prodotti residuali (es. il clortoluron), nell'ambito delle strategie di controllo e prevenzione delle popolazioni di *Lolium* spp., resistenti ai graminicidi inibitori dell'ALS (Geminiani et al., 2013).

3.3 Epoca e densità di semina

La scelta dell'epoca di semina può avere una notevole influenza sui rapporti competitivi tra la coltura e le malerbe. Il successo competitivo della coltura è correlato al ritardo nell'emergenza della vegetazione spontanea e alla conseguente sua più ridotta crescita. In molti casi le semine troppo anticipate non permettono un rapido sviluppo della coltura, favorendo l'azione competitiva delle infestanti.

Una frequente tendenza all'anticipo dell'epoca di semina si è osservata nel caso del mais in molte areali dove questa coltura è maggiormente coltivata. Tale tecnica consente di razionalizzare la gestione della coltura e basa la sua diffusione ed il suo successo sui vantaggi produttivi che è in grado di determinare (Maiorano et al., 2007). Una semina anticipata permette alla coltura di sfruttare meglio la disponibilità di energia radiante in alcune fasi importanti del ciclo colturale (es. fioritura). Inoltre, la semina anticipata sposta la fioritura della coltura (che è la fase fenologica caratterizzata dalle maggiori esigenze idriche), in un'epoca più anticipata, in cui le condizioni ambientali sono generalmente più favorevoli soprattutto in termini di disponibilità idrica (Mandula, 1999).

Dal punto di vista della gestione delle infestanti, le semine anticipate, ad esempio prima del 20 marzo, sono generalmente associate ad una variazione significativa degli inerbimenti. Negli areali settentrionali l'anticipo della semina ha dimostrato di favorire la presenza di infestanti quali poligonacee, *Chenopodium album* e *Abutilon theophrasti*.

Le semine anticipate risultano inoltre associate ad una minore pressione da parte di infestanti con metabolismo C₄, sia graminacee che dicotiledoni (Ferrero e Vidotto, 2006). La tendenza all'anticipo delle semine trova una crescente diffusione anche in relazione alle problematiche legate allo sviluppo delle micotossine. Uno studio realizzato nel Veneto ha evidenziato che le semine anticipate permettono di contenere il livello di fumonisine nella granella, in quanto possono

abbreviare il periodo in cui le condizioni climatiche sono favorevoli allo sviluppo dei patogeni fungini (es. *Fusarium verticilloides*) (Causin et al., 2008).

La densità e la distribuzione spaziale della coltura possono essere finalizzate sia all'applicazione di interventi di lotta meccanica, sia ad assicurare una rapida copertura del terreno da parte della vegetazione delle piante coltivate, consentendo a queste di acquisire un vantaggio competitivo nei confronti della flora infestante. In generale, la condizione ottimale da raggiungere è quella in cui la coltura è interessata dalla massima competizione interspecifica e dalla più ridotta competizione intraspecifica. Questa condizione va tenuta presente quando si deve determinare la dose di seme distribuita e la disposizione delle piante sul terreno. Ad esempio, l'aumento della distanza tra le file del mais, pur aumentando la possibilità di emergenza delle malerbe, può facilitare i successivi interventi meccanici di controllo delle malerbe, quali la sarchiatura e la rincalzatura. Nei terreni nei quali non sia agevole intervenire con lavorazioni in copertura (terreni pesanti), al contrario, è consigliabile ravvicinare le file in modo da assicurare una copertura del terreno sin dalle prime fasi di sviluppo della coltura, soprattutto nelle aree soggette a ruscellamento ed erosione.

La densità di semina di una determinata coltura può essere modificata anche in relazione alle caratteristiche varietali e a considerazioni di natura agronomica ed economica che tengono conto del costo della semente e delle perdite di produzione. A tal proposito Chauhan et al. (2011), suggeriscono densità di semina più elevate se il livello di controllo delle piante infestanti è limitato. Diversi studi hanno evidenziato che un aumento della densità di semina può essere associato ad una più elevata capacità competitiva nei confronti delle malerbe ed anche ad una riduzione delle perdite produttive dovute alla competizione (Chauhan et al., 2011; Evans et al., 1991; O'Donovan et al., 2001).

Nella scelta varietale è opportuno dare la priorità alle cultivar più tolleranti ai principali patogeni della coltura, in modo da ridurre la necessità di ricorrere successivamente ad interventi chimici di difesa. Analogamente andranno favorite le varietà con cicli colturali meno adatte allo sviluppo di patogeni, di fitofagi e nematodi dannosi.

Nell'ambito delle operazioni di semina può trovare utile inserimento la falsa semina, una tecnica basata sulla preparazione anticipata del letto di semina, seguita dall'eliminazione, con interventi meccanici o chimici, delle malerbe germinate prima della semina o dell'emergenza della coltura. Tale pratica è utilizzata soprattutto nel caso di colture a lenta emergenza ed assicura alle stesse un vantaggio competitivo mediante il contenimento dei flussi germinativi delle malerbe durante le prime fasi di crescita delle colture. La pratica della falsa semina trova una certa diffusione nella coltura del riso in particolare per il contenimento delle infestazioni di riso crodo; nella stessa coltura

rappresenta inoltre una valida opzione di controllo di popolazioni di infestanti resistenti agli erbicidi comunemente impiegati in post-emergenza.

3.4 Gestione delle problematiche fitopatologiche

Uno dei principali inconvenienti della globalizzazione è legato alla più rapida diffusione degli organismi viventi tra aree anche geograficamente molto lontane. L'introduzione di nuove specie viventi in altri ambienti altera i precedenti equilibri ecologici, provocando talora la scomparsa di specie autoctone, modificando il paesaggio, incrementando i rischi sanitari per la salute pubblica e determinando nuove emergenze per il settore agricolo e forestale.

Il controllo delle nuove problematiche fitosanitarie oltre a rappresentare un costo per la società può anche determinare un mutamento delle strategie gestionali adottate in una certa coltura. Può accadere, infatti, che alcune pratiche agronomiche di una data coltura debbano essere riconsiderate o modificate alla luce delle problematiche legate all'azione di una nuova avversità. A tal proposito è possibile segnalare il caso recente della diabrotica (*Diabrotica virgifera virgifera*). Tale insetto, di origine americana, è stato introdotto in Europa nel 1992 e in Italia nel 1998 (Tosi, 2009). A seguito della sua rapida diffusione e dei danni che gli l'insetto è in grado di provocare soprattutto negli stadi giovanili alle coltivazioni di mais, dal 2001 è stata introdotta la lotta obbligatoria. Nel decreto sono indicate diverse azioni da intraprendere per contenere lo sviluppo e la diffusione di tale fitofago. Tale strategia di lotta combina azioni di natura agronomica e chimica (esclusa la concia della, che stata vietata); dal punto di vista agronomico i punti importanti sono legati all'avvicendamento colturale e all'anticipo dell'epoca di semina. Nelle coltivazioni di mais gli attacchi di diabrotica si sono sommati a quelli dovuti all'azione di un altro insetto nativo, la piralide. L'azione trofica di questi insetti è associata allo sviluppo di funghi, la cui attività determina contaminazione da micotossine della granella o del materiale trinciato.

Negli ultimi anni la contaminazione da micotossine della granella ha sollevato notevoli preoccupazioni (Firrao et al., 2011). La soluzione più efficace di questa problematica sembra essere quella di ricorrere ad un avvicendamento razionale delle colture, ad una opportuna gestione dei residui colturali e ad una gestione della coltura in modo da evitare condizioni di stress alla pianta coltivata. Avvicendare le colture oggi può voler dire inserire nuove colture o aumentare la frequenza di altre un tempo poco presenti, con conseguenti modificazioni della tecnica colturale.

Gli effetti dell'avvicendamento colturale sulla dinamica evolutiva della flora infestante sono stati oggetto di numerosi studi. Nel caso delle piante infestanti, favorisce il mantenimento di una flora infestante equilibrata, non eccessivamente competitiva e, quindi, più semplice da contenere. L'alternanza sullo stesso terreno di colture a ciclo autunno-vernino con altre a ciclo primaverile-

estivo evita che si selezionino gruppi di piante infestanti tipici di una sola coltura. Una maggiore diversificazione della flora infestante aumenta la competizione interspecifica anche tra le diverse infestanti, riducendo la necessità di ricorrere agli interventi di lotta. Da non trascurare è anche un effetto indiretto dell'avvicendamento, ovvero la possibilità di utilizzare sullo stesso appezzamento diserbanti caratterizzati da differente meccanismo di azione nelle varie stagioni colturali. Di norma infatti, le colture che si susseguono, permettono di utilizzare sostanze attive differenti, riducendo la pressione di selezione applicata alla flora infestante e quindi la comparsa di fenomeni di resistenza. L'inserimento nella rotazione di colture particolarmente competitive nei confronti delle infestanti, come la canapa e il colza, può inoltre aumentare gli effetti positivi dell'avvicendamento.

Gli interventi chimici attualmente eseguiti per prevenire gli attacchi di piralide e diabrotica possono manifestare un impatto indiretto sulla gestione delle malerbe. Pianta di mais sottoposta a trattamento insetticida contro la piralide risultano più robuste, senza stroncamenti, con un maggiore e più prolungato ombreggiamento del terreno, contrastando le emergenze di malerbe di fine estate che soprattutto nei terreni del nord-est potrebbero ancora andare a seme (es. *Galinsoga* spp., *Sigesbeckia orientalis*, *Acalypha virginica*). La lotta alla piralide può quindi avere positivi effetti sul grado di infestazione dei terreni, tuttavia bisogna considerare le conseguenze collaterali che i diversi sistemi di gestione delle malerbe hanno su altre avversità delle colture. Il lavoro recente di Meziere et al. (2013), sottolinea questa possibilità e apre una finestra sulle possibili interazioni, sia perché nuovi sistemi gestionali possono favorire direttamente alcuni patogeni, sia perché alcune malerbe non ben controllate possono ospitare gli stessi patogeni. In sostanza, sembra di capire che nel prossimo futuro la gestione delle malerbe, in alcuni sistemi colturali, si dovrà integrare opportunamente con le scelte colturali messe in atto per contrastare la diffusione delle micotossine e di alcuni insetti.

In tal senso merita ricordare anche il crescente ruolo assunto dal sorgo nell'ambito del panorama colturale del nostro paese. Questa coltura sta riscuotendo un crescente interesse in alternativa al mais per il buon potenziale produttivo nelle situazioni di limitate disponibilità idriche e per la ridotta sensibilità alla diffusione dei funghi micotossigeni.

3.5 Scelta varietale

La scelta della varietà costituisce un aspetto di notevole importanza nelle strategie di controllo della vegetazione infestante e, più in generale, di difesa contro tutte le avversità biotiche. Le differenze morfologiche e fisiologiche esistenti tra le diverse varietà di una determinata specie sono, infatti, in grado di condizionare fortemente lo sviluppo delle infestanti. Nel frumento, ad esempio, l'altezza, la precocità, la rapidità di emergenza, la capacità di ricoprimento e l'indice di accestimento sono tra

i parametri maggiormente in grado di influenzare le infestazioni. Un precoce sviluppo ed un più elevato accestimento, determinando una più rapida e più estesa copertura del suolo possono infatti ridurre l'emergenza delle infestanti (Covarelli, 1989). Nel mais gli ibridi a foglie erette lasciando filtrare più luce possono determinare inerbimenti più intensi (Covarelli, 1989).

Numerosi studi hanno posto in evidenza come le varietà di vecchia introduzione siano generalmente caratterizzate da una maggiore competitività nei confronti delle malerbe. Un lavoro realizzato in Australia su varietà di frumento tenero e duro, ha evidenziato che le varietà coltivate tra la fine dell'800 e la metà del '900 sopportavano meglio la competizione causata da *Lolium rigidum* rispetto a quelle introdotte successivamente (Lemerle et al., 1996). L'introduzione dei diserbanti a partire dal secondo dopoguerra ha progressivamente indirizzato gli obiettivi del miglioramento genetico verso l'incremento dei livelli produttivi e qualitativi a scapito della capacità competitiva. Questi problemi sono stati in parte risolti con l'introduzione degli ibridi. Il fenomeno dell'eterosi, o vigore ibrido, è stato ampiamente sfruttato in diverse colture; nel mais ha permesso di ottenere livelli produttivi non raggiungibili con le tradizionali varietà. Si sta diffondendo l'utilizzazione del vigore ibrido anche in altri cereali, quali riso, frumento e orzo. La coltivazione di ibridi di riso ad esempio è stata introdotta in Cina a partire dagli anni '70. Si stima che oggi in questo paese circa la metà della superficie totale a riso sia oggi già coltivata con varietà ibride (Lupotto et al., 2008). Negli ultimi anni la coltivazione di ibridi di riso, frumento e orzo ha iniziato a diffondersi anche in diversi paesi europei. A titolo di esempio in Europa nel 2012 sono stati seminati circa 250.000 ha di frumento ibrido. In Italia nello stesso anno sono state seminate alcune migliaia di ettari di frumento ibrido, e circa 2.000 ha di riso ibrido (varietà ECCO 63 e CLXL 745), con un trend in forte crescita (Venturoli, 2013; Romani, 2013).

Le varietà ibride presentano una migliore risposta produttiva che deriva da una più elevata capacità competitiva e da una superiore rusticità. Gli ibridi di frumento sono ad esempio caratterizzati da un apparato radicale più sviluppato, da una spiccata rusticità e da un più elevato accestimento, presentando, nel complesso, migliori performance produttive ed un migliore profilo tecnologico. La maggiore capacità di accestimento delle varietà ibride e la migliore efficienza nell'uso delle risorse possono verosimilmente influenzare i rapporti competitivi tra coltura e malerbe. Tuttavia il basso investimento alla semina, legato all'elevato indice di accestimento favorisce inizialmente l'emergenza e la pressione competitiva delle infestanti. Inoltre, al momento dei trattamenti di post-emergenza la coltura esercita una ridotta competizione sulle infestanti, rendendo meno efficace l'azione di molti erbicidi, in particolare gli inibitori dell'ALS (Allegrì e Bartolini, 2013).

Nel caso degli ibridi di riso è inoltre da segnalare che la loro adozione può essere associata in alcuni areali, come ad esempio in quello italiano, ad una diversa gestione colturale nelle prime fasi del

ciclo. L'investimento iniziale è infatti molto ridotto rispetto alle varietà tradizionali e al fine di raggiungere la densità ottimale di semina si rende necessario (laddove la natura del suolo lo consente) il ricorso alla semina in asciutta (Tesio et al., 2013). Le strategie adottate per il controllo della flora infestante possono subire quindi delle variazioni nelle modalità e nella tipologia di principi attivi utilizzati. Occorre tuttavia considerare che in alcune realtà del sud-est asiatico, il maggiore costo degli ibridi può rappresentare un limite per gli agricoltori, i quali potrebbero essere spinti a ridurre la dose di semina. In questo caso non vanno trascurati i possibili rischi legati alle minori emergenze ed alla potenziale maggiore infestazione in assenza di una adeguata strategia di controllo (Chauhan et al., 2011).

Una diversa considerazione merita l'impiego di varietà convenzionali, non geneticamente modificate, tolleranti agli erbicidi. Si tratta di una soluzione che l'industria sta cercando sempre più di adottare per allargare il campo applicativo di prodotti in colture che hanno una limitata disponibilità di erbicidi. Notevole interesse hanno riscosso nel nostro paese i pacchetti tecnologici Clearfield® ed Express Sun® (Bartolini, 2013). Con le varietà Clearfield®, associate all'impiego dell'erbicida imazamox, è possibile eliminare in post-emergenza pericolose malerbe come il riso crodo, i giavoni e le ciperacee nel riso (Sudianto et al., 2013) o come il cencio molle, le crucifere e la nappola nel girasole. Nella soia le varietà Express Sun® possono essere diserbate con un prodotto a base di tribenuron metile, caratterizzato da elevata efficacia nei confronti di un ampio numero di malerbe a foglia larga. L'impiego di questi pacchetti tecnologici può risolvere importanti problemi di infestazione, ma può provocarne altri, quali lo sviluppo di resistenze per il frequente utilizzo di prodotti con gli stessi meccanismi di azione all'interno del sistema colturale. La comparsa di popolazioni di riso crodo resistenti all'imazamox nelle coltivazioni di riso Clearfield®, in Piemonte e Lombardia, impone una notevole attenzione da parte dell'agricoltore nell'impiego di queste tecnologie ed evidenzia l'assoluta necessità di mettere in atto adeguate strategie di gestione integrata delle malerbe con l'adozione di queste varietà (Scarabel et al., 2012).

Nel complesso, queste innovazioni nel campo della scelta varietale possono sembrare di scarso rilievo, ma una volta diffuse nel territorio ed integrate opportunamente con gli altri segmenti della tecnica colturale, possono determinare effetti molto importanti anche imprevedibili, in particolare se l'intensificazione produttiva sostenibile porterà a soluzioni meno dipendenti dal mezzo chimico.

3.6 Avvicendamento colturale

La pratica dell'avvicendamento colturale, ovvero dell'alternanza sullo stesso appezzamento di colture diverse, rappresenta tuttora una delle soluzioni agronomiche più adatte a favorire lo sviluppo di una comunità floristica equilibrata. La diffusione dell'agricoltura intensiva ha determinato un

progressivo abbandono di questa tecnica. Negli ultimi anni, tuttavia, l'avvicendamento ha trovato un rinnovato interesse in relazione alla introduzione di strategie integrate di controllo delle avversità biotiche. In alcune situazioni colturali, l'avvicendamento rappresenta uno strumento fondamentale per ridurre in modo efficace la diffusione di specifiche avversità, come ad esempio la diabrotica del mais tra i fitofagi o il riso crodo nel riso. L'avvicendamento colturale offre anche la possibilità di utilizzare erbicidi con differente meccanismo di azione sullo stesso appezzamento, rallentando l'insorgenza dei fenomeni di resistenza o facilitandone la risoluzione se questi sono già presenti.

L'entrata in vigore della Direttiva 2009/128/CE sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari sta portando ad un cambiamento nelle strategie di difesa sinora adottate. L'adozione dei Piani di Azione Nazionali (PAN), previsti nell'ambito della direttiva, determinerà l'applicazione obbligatoria a partire dal 1 gennaio 2014 dei principi della difesa fitosanitaria integrata. L'avvicendamento colturale rappresenterà certo, laddove applicabile, una delle pratiche colturali più importanti nell'ambito delle strategie integrate di difesa (Campagna et al., 2011).

3.7 Colture energetiche

A seguito della convenzione di Rio e di Kyoto, alcuni paesi sviluppati, e tra questi anche quelli appartenenti all'Unione Europea, hanno favorito l'impiego delle colture agrarie per la produzione di energia rinnovabile anche attraverso incentivi monetari di breve o di lungo periodo. Questa utilizzazione ha interessato le colture produttrici di olio da esterificare per la produzione di biodisel (colza, girasole e soia), quelle da destinare alla produzione di etanolo di seconda generazione (arundo, miscanto, sorgo, ecc). Ha riguardato altresì le colture da biomassa da utilizzare per la produzione di energia elettrica a seguito di combustione (pioppo, salice, robinia, arundo, miscanto, sorgo da fibra, cardo, ecc.), colture da biomassa da utilizzare per la produzione di calore direttamente o dopo trasformazione in particolari forme (es. pellet), colture da biomassa da utilizzare per la produzione di biogas da destinare alla produzione di energia elettrica ed energia termica o di metano, impiegandole da sole (mais, sorgo, tritiale, orzo o frumento) o in aggiunta ad altri materiali di scarto (effluenti da allevamento, fanghi da depuratori, frazione organica di rifiuti solidi urbani, ecc.).

Per arundo e miscanto, specie perenni di durata tra i 10 e i 15 anni, i problemi di diserbo si hanno in particolare, al primo anno di impianto e sono soprattutto critici quando si deve procedere alla totale devitalizzazione dei rizomi alla fine del ciclo, nel caso in cui non si debba effettuare un reimpianto della stessa specie.

Il controllo delle infestanti va previsto anche per le colture di pioppo, salice e robinia sia sulla fila sia tra le file. Di norma dopo il primo anno sulla fila delle specie legnose non vi sono problemi di diserbo in quanto lo sviluppo di queste piante contiene sufficientemente le malerbe.

Per quanto riguarda le colture destinate ad alimentare i biodigestori anaerobici l'avvicendamento è in generale stretto, ma non molto dissimile da quello adottato dalle aziende zootecniche intensive, prevalentemente basato sulla successione *loiessa-mais*. L'utilizzo energetico delle colture richiede la stessa attenzione nella gestione delle malerbe prevista per la destinazione alimentare, in quanto il risultato dipende moltissimo, in entrambi i casi, dalla quantità di granella presente nella biomassa per il biodigestore o nel trinciato per uso zootecnico. Va tuttavia osservato che gli indirizzi colturali per l'impiego energetico delle colture agrarie non hanno ancora avuto una precisa definizione; potrebbe infatti accadere, come già si sta verificando negli impieghi zootecnici che si preferisca abbandonare la doppia coltura, in quanto talvolta la maggiore produzione di biomassa non compensa i costi della doppia coltivazione. Va inoltre considerato che negli impianti di grandi dimensioni (1 MWe) è spesso necessario ricorrere all'acquisto di biomasse foraggere (in genere trinciato di mais e di sorgo) da altre aziende. In queste condizioni i semi delle malerbe presenti nelle biomasse conferite possono ritornare sia nelle aziende che le hanno fornite, sia in altre con la distribuzione dei digestati (principalmente separati solidi).

Ai fini della produzione di energia da biomasse il sorgo rappresenta sicuramente la specie insieme al mais più interessante tra le colture erbacee a ciclo annuale. Le varietà di sorgo, di tipo zuccherino e da fibra, possono alimentare la filiera del biogas e quella del bioetanolo di seconda generazione. Il sorgo presenta una notevole adattabilità ambientale che si unisce a caratteri di elevata rusticità, rapidità di crescita, resistenza agli stress idrici ed elevate produzioni unitarie. Trattandosi di una specie annuale il suo inserimento all'interno di una rotazione colturale non risulta difficile ed anche il parco macchine aziendale non richiede particolari adattamenti. L'elevata resistenza allo stress idrico consente la coltivazione di questa coltura anche in ambienti caratterizzati da periodi siccitosi più o meno lunghi, anche laddove la disponibilità idrica derivante dalle irrigazioni non è elevata. Il sorgo è considerato una coltura da rinnovo con semina primaverile tardiva, e segue generalmente un cereale vernino o una leguminosa foraggera. Negli ultimi anni la coltivazione del sorgo da biomasse risulta in crescita, erodendo in alcune zone dell'Italia le superfici tradizionalmente destinate al mais, sia per l'interesse nelle colture energetiche e sia per i minori rischi di formazione di micotossine rispetto al mais. Interessante è soprattutto l'inserimento del sorgo in secondo raccolto per alimentare, in miscela con altre biomasse, i biodigestori. La diffusione del sorgo nelle aree maidicole non implica dei cambiamenti nella tecnica aziendale, ma può avere degli effetti sulla strategia di controllo delle piante infestanti. La lotta alle malerbe nel sorgo è fondamentale nelle

prime fasi vegetative, prima che la coltura chiuda le file. In relazione a questo aspetto, però, il sorgo presenta alcune criticità rispetto al mais, per la minore disponibilità di diserbanti in grado di contenere adeguatamente i vari inerbimenti.

Secondo i dati raccolti dal CRPA, in Italia nel 2012 si contavano 994 impianti per la produzione di biogas (biodigestori) per la maggior parte concentrati nel nord e nel centro Italia per una potenza totale installata di oltre 750 MW. Il 67% degli impianti è infatti localizzato in Lombardia, Emilia Romagna e Veneto.

Circa il 20% dei biodigestori viene alimentato con sole biomasse provenienti da colture energetiche e/o sottoprodotti agroindustriali, mentre circa il 45% con miscele di effluenti zootecnici e biomasse da colture energetiche, il 18% da soli effluenti zootecnici. Allo stato attuale una quota consistente di impianti a biogas necessita di una superficie agricola inferiore ai 200 ha per produrre 1 MWe (Bozzetto, 2012). Nel 2010 la superficie investita a colture per l'alimentazione degli impianti a biogas era di circa 85.000 ha, stime ottimistiche parlano di 200.000 ha nel 2015 e di 400.000 ha al 2030, per una produzione complessiva di 8 miliardi di mc di metano equivalente. Sul totale della SAU a seminativo le colture energetiche incidono per 1,2% e nel caso della SAU a mais queste incidono per l'8% (CIBG, 2012).

Dal punto di visto agricolo, al di là degli aspetti legati all'apporto di elementi nutritivi e sostanza organica che l'impiego del digestato determina, il suo utilizzo in agricoltura può avere anche significativi riflessi sulla dinamica degli inerbimenti. Le temperature che sono di norma raggiunte durante il processo di digestione anaerobica, variano infatti a seconda che il processo sia condotto nel reattore in condizioni di mesofilia (35-37 °C) o di termofilia (c.a. 55 °C). In Italia la maggior parte dei digestori opera a temperature di circa 40-45 °C ed il materiale in ingresso permane nel biodigestore per circa 70 giorni. Questi livelli termici possono avere una diversa azione sulla vitalità dei semi delle infestanti presenti nelle biomasse utilizzate nel biodigestore e presenti nel digestato. In relazione a questo aspetto, non disponendo di molte informazioni specifiche, può essere utile prendere in considerazione le conoscenze acquisite negli studi sugli effetti della solarizzazione e del vapore sulla capacità germinativa dei semi delle malerbe (Barberi et al., 2009; Vidotto et al., 2013; Tamietti e Valentino, 2001). In questi lavori si è osservato che la sensibilità dipende da fattori quali la specie, l'umidità del substrato e la durata dell'esposizione. L'esposizione per pochi secondi (2-5) ad elevate temperature può essere letale per molti semi di infestanti. Temperature comprese tra 64 e 80 °C sono in grado di devitalizzare i semi di alcune importanti infestanti a ciclo primaverile-estivo quali *Galinsoga quadriradiata*, *Echinochloa crus-galli*, *Amaranthus retroflexus*, *Solanum nigrum*, *Setaria viridis* e *Portulaca oleracea*. Si è altresì osservata una relazione diretta tra le dimensioni e il

peso del seme e la sensibilità al calore. Tra queste specie *E. crus-galli* ha mostrato la più elevata tolleranza al calore (Vidotto et al., 2013).

E. crus-galli, *P. oleracea* e *Amaranthus albus* mantenuti ad una temperatura costante di 42 °C non hanno presentato riduzioni nella germinazione (Dahlquist et al., 2007). Il processo fermentativo comporta un elevato rischio di peggioramento dello stato degli inerbimenti nelle colture interessate dalla distribuzione dei digestati, sia per l'aumento delle infestazioni, sia per la diffusione di specie prima non presenti. Tale rischio appare più elevato quando il digestato viene utilizzato in aziende diverse da quelle da cui provengono le biomasse foraggere.

Questo inconveniente potrebbe essere risolto nelle fasi successive con il trattamento ai quali il digestato viene normalmente sottoposto. Ai fini dell'utilizzo agronomico, il digestato è infatti soggetto a trattamenti di natura meccanica (separazione solido/liquido), termica, chimico-fisica e biologica o semplicemente stoccato in loco, in attesa della distribuzione. Questi trattamenti consentono una migliore utilizzazione del digestato, modificando il suo contenuto in nutrienti e facilitando il suo trasporto e distribuzione. In assenza di una normativa specifica, l'utilizzazione agronomica del digestato segue percorsi diverse a seconda dei sottoprodotti utilizzati nel processo (effluenti, biomasse, rifiuti organici). Le regioni hanno deliberato normative specifiche, al fine di permettere la distribuzione di questo sottoprodotto nelle aree agricole. Tra i diversi trattamenti elencati in precedenza, quello termico consente di ottenere un prodotto facilmente stoccabile e trasportabile, mentre l'acqua di risulta viene spesso reimpressa nell'impianto. Le temperature raggiunte durante il processo oscillano tra i 100-110 °C. Tali temperature sono in grado di devitalizzare i semi di buona parte delle infestanti. Tuttavia ad oggi, la quasi totalità del digestato prodotto dagli impianti a biogas viene generalmente sottoposto ad un processo di separazione solido/liquido.

4 Aspetti normativi

In questi ultimi anni si è assistito nei paesi dell'Unione Europea ad una significativa evoluzione nel quadro normativo dei prodotti fitosanitari, principalmente finalizzato alla tutela della salute e dell'ambiente.

In relazione a questi aspetti merita ricordare ad esempio le prescrizioni stabilite da alcune normative già in vigore e di altre in corso di applicazione (2009/128/CEE sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari) per l'applicazione e la gestione delle fasce tampone.

La gestione di tali aree agricole appare oggi ancora più importante alla luce dell'importanza che esse hanno assunto in relazione alla tutela della biodiversità, alla salvaguardia del paesaggio e alla protezione delle risorse idriche.

Nell'ambito della politica agricola comune, a partire dalla fine degli anni '80 è stata emanata una serie di strumenti legislativi finalizzati, dapprima a diminuire il surplus produttivo, ed in seguito a ridurre l'impatto dell'agricoltura e della zootecnia sull'ambiente. Tra i primi regolamenti possiamo ricordare il Reg. 1272/88 sul set-aside ed il Reg. 2078/92, relativo a metodi di produzione agricola compatibili con le esigenze di protezione dell'ambiente e con la cura degli spazi naturali. L'introduzione di queste normative ha cambiato il modo di "fare agricoltura" determinando importanti cambiamenti nella gestione aziendale, colturale, e delle strategie di difesa fitosanitaria. In questo contesto anche le strategie di controllo della flora infestante si sono dovute adeguare ad una realtà in continua evoluzione. Negli anni più recenti i maggiori cambiamenti nella gestione aziendale sono derivati dal disaccoppiamento degli aiuti e dal diffondersi delle misure agro-ambientali nell'ambito dei PSR.

Una delle principali novità contenute nella riforma della politica agricola comune (PAC) consiste nell'erogazione di contributi alle aziende agricole per l'applicazione di pratiche colturali in grado di fornire ricadute positive sull'ambiente. Nella nuova PAC al pagamento di base, ormai disaccoppiato, si aggiunge un pagamento supplementare per gli agricoltori che rispettano determinati requisiti di natura ambientale ed ecologica. Questo pagamento supplementare è comunemente conosciuto con il termine di "*greening*" (inverdimento).

4.1 Fasce tampone ed altre aree di protezione

L'adozione delle fasce tampone lungo i corsi d'acqua è stata resa obbligatoria a partire dal 1 gennaio 2012 con il decreto n° 27417 del 22/12/2011, come ulteriore obbligo nell'ambito della condizionalità. Queste costituiscono dei mezzi di mitigazione della contaminazione dei corpi idrici superficiali da ruscellamento e deriva e di salvaguardia delle aree sensibili. Le conseguenze a livello maleribologico sono legate al fatto che queste aree possono diventare fonte di disseminazione verso i campi coltivati, se non ben gestite, anche se tale rischio non è stato ancora chiaramente definito (Smith et al., 1999; Marshall e Moneen, 2002). In generale possono rendersi necessari 1-2 tagli lasciando la vegetazione sfalciata sul terreno. Con questa logica vanno trattate anche le altre aree aziendali, non coltivate, a cui la legislazione europea attribuisce sempre maggiore importanza per gli "*ecological services*" da essi forniti. Anche queste aree non vanno abbandonate in quanto possono effettivamente produrre importanti servizi ecosistemici.

4.2 *Greening*

A questa componente ecologica obbligatoria nell'ambito degli aiuti diretti, gli Stati Membri devono destinare il 30% del budget disponibile a livello nazionale. Le aziende agricole possono incassare il

premio supplementare solo se rispettano tre condizioni: la diversificazione delle colture, il mantenimento dei prati permanenti, la costituzione di zone di interesse ecologico pari al 5% delle superfici a seminativo (Comegna, 2013; CSC, 2013). Questo impegno del *greening* riguarderà il 3,8% delle aziende corrispondente a circa il 18,8% della SAU. Sono esentate dal *greening* le aziende già inserite in aree Natura 2000 e quelle con superficie aziendale inferiore ai 10 ha (Di Mambro, 2013). La diversificazione delle colture si applica sui seminativi per le aziende con oltre 10 ettari di superficie e prevede almeno due colture per superfici aziendali comprese tra 10 e 30 ettari, tre colture per aziende con più di 30 ettari. Sono previsti limiti minimi e massimi di superficie investiti con la coltura principale e specifiche deroghe per il riso e per le aziende dove due terzi della superficie è destinata a colture foraggere o prati e pascoli. Le misure contenute nel *greening* non sono da considerarsi sostitutive di misure analoghe già previste nei PSR. E' importante ricordare che nel caso di impegni agroambientali equivalenti al *greening* non sarà comunque previsto un doppio pagamento.

Per quanto riguarda il divieto di conversione delle foraggere permanenti in seminativi, tale misura si applica nelle aree sensibili individuate dagli Stati Membri tra quelle ricadenti nella Direttiva Habitat. In tali aree, il rapporto tra superficie a prato permanente e superficie agricola totale non deve scendere sotto il 5%, pena la riconversione obbligatoria di superfici a seminativo. Il mantenimento delle foraggere permanenti riguarderebbe circa il 15% delle aziende, pari a circa il 35% della SAU, interessando la quasi totalità della superficie a prati e pascoli permanenti.

L'ultimo impegno del *greening* interessa le cosiddette "aree a focus ecologico". In questo caso sarebbero interessate circa il 5% delle aziende equivalenti al 30% della SAU. Gli agricoltori con superficie a seminativo superiore ai 15 ha saranno obbligati a realizzare aree di interesse ecologico per una estensione almeno corrispondente al 5% della superficie a seminativo (Comegna, 2013; CSC, 2013). Entro agosto del 2014 gli Stati Membri dovranno definire quali coperture del suolo potranno fregiarsi dell'appellativo di aree di interesse ecologico (es. siepi, fasce tampone, boschi cedui a rotazione rapida, colture intercalari, colture azotofissatrici, ecc.).

L'impatto della nuova PAC e del *greening*, sull'azienda agricola è oggetto di analisi soprattutto per valutare gli effetti sulla redditività aziendale. Occorre tuttavia considerare anche i possibili impatti che queste misure avranno in termini di gestione aziendale e culturale. Focalizzando l'attenzione sui soli effetti culturali, ed in particolare sulla gestione delle piante infestanti, è verosimile attendersi che la diversificazione culturale e la realizzazione delle aree ad interesse ecologico possano influenzare l'evoluzione della flora infestante e modificare le strategie di gestione della stessa. Per quanto riguarda la gestione delle aree "improduttive" valgono molte delle considerazioni trattate in precedenza. Fasce tampone ed altre aree non più coltivate dovranno essere opportunamente gestite

per evitare la creazione di zone di infestazione per le vicine aree coltivate. L'introduzione del prato può significare l'inserimento di un avvicendamento colturale di lungo termine in superfici gestite in precedenza a monocoltura. In questo caso è possibile immaginare un effetto diretto sulla composizione floristica e quindi indirettamente sull'intensità degli inerbimenti e quindi sulla tipologia degli interventi di controllo.

4.3 Altri vincoli normativi

Più importanti sembrano essere le conseguenze di normative che introducono limitazioni nell'uso di determinati erbicidi nelle aree di ricarica delle falde o quelle relative ai Disciplinari di Produzione Integrata. Un esempio studiato in America è quello relativo, per esempio, alla diffusione di *Conyza canadensis* e *Conyza bonariensis*, a seguito della riduzione dell'uso di erbicidi di pre-emergenza nelle aree di ricarica (Hembree e Shrestha, 2005). Prevedere le diverse dinamiche evolutive in queste condizioni è difficile; in ogni caso i prodotti di pre-emergenza mediamente più persistenti, distribuiti su terreno nudo e in un periodo più piovoso (inizio primavera ed inizio autunno) sono ritenuti potenzialmente più pericolosi per le acque profonde e quindi le normative tendono a limitarne l'impiego in tali aree. Dal punto di vista agronomico un minor ricorso a tali prodotti avvantaggia in particolare le malerbe che emergono in uno stadio avanzato del ciclo colturale, sfruttando inizialmente nicchie ecologiche limitate, che sono in grado di continuare a vegetare anche dopo la raccolta della coltura e, grazie ad una elevata sensibilità al fotoperiodo, capaci di chiudere il ciclo andando a seme prima dell'inverno. *Bidens* spp. (Danuso et al., 2012), *Sigesbeckia orientalis*, *Galinsoga* spp., *Acalypha virginica*, *Sonchus oleraceus*, ad esempio, sono specie sotto questo punto di vista da considerare con attenzione. La scelta delle diverse soluzioni è comunque difficile e controversa; per esempio per contrastare la diffusione delle resistenze soprattutto nei confronti degli erbicidi inibitori degli enzimi ALS, ACC-asi e EPSP di post-emergenza può essere consigliabile introdurre erbicidi di pre-emergenza con meccanismi di azione diversi. Il ricorso a questi prodotti richiede tuttavia una ragionata pianificazione per evitare il rischio di contaminazione dei corpi idrici superficiali e profondi, in gran parte legato alle caratteristiche di persistenza di questi prodotti. Il ricorso alle deroghe nelle varie zone per contrastare la diffusione delle resistenze, risolve un problema agronomico ma certamente non quello ambientale. La difficoltà dell'intensificazione produttiva risiede principalmente nella discrasia tra le diverse soluzioni idonee agli obiettivi specifici ma che non sono sempre in grado di rispondere alla complessità delle condizioni in cui si opera (ambientali, agronomiche, economiche). Le soluzioni più razionali sia sotto il profilo ambientale, sia sotto quello agronomico si basano sull'adozione (Ferrero e Zanin,

2011) della lotta integrata, un sistema gestionale reso obbligatorio dall'applicazione dei piani di azione nazionali nell'ambito della direttiva sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari.

5 Conclusioni

Le variazioni che intervengono nella gestione e negli indirizzi colturali, oltretutto nel quadro normativo dei prodotti per la difesa delle colture, possono portare ad una significativa evoluzione nella composizione quanti-qualitativa degli inerbimenti delle colture agrarie. In queste condizioni un importante compito dei malerbologi è sempre stato quello di prevedere i cambiamenti evolutivi del quadro malerbologico in relazione alle modificazioni della tecnica colturale e, più nello specifico, di individuare i tratti biologici ed ecologici delle malerbe che risultano avvantaggiati da tali cambiamenti. Si è arrivati così a capire che l'introduzione di una variabilità spazio-temporale nelle tecniche colturali è un mezzo particolarmente idoneo per limitare l'evoluzione e mantenere equilibrata la flora infestante. Tale obiettivo è comunque difficile da ottenere, considerata la sempre più elevata pressione di selezione sulle malerbe, dovuta in particolare ai diserbanti e alla mancanza di molecole con nuovi meccanismi di azione. Il ricorso alla gestione integrata rappresenta sicuramente la soluzione più indicata per limitare la pressione di selezione ed evitare cambiamenti repentini che sono sempre dannosi e che costringono gli agricoltori a modificare almeno ogni 4-5 anni i programmi di gestione delle malerbe, per mantenere inalterata la loro efficacia.

Bibliografia

- Allegri A, Bartolini D (2013). Caso studio sulle dinamiche evolutive della vegetazione infestante e sulla gestione integrata. Il caso del frumento. In questi Atti.
- Barberi P, Moonen AC, Peruzzi A, Fontanelli M, Raffaelli M (2009). Weed suppression by soil steaming in combination with activating compounds. *Weed Research* 49: 55-66.
- Bartolini D (2013). Diserbo, i pro e i contro delle varietà tolleranti. *Terra e Vita* 54(4): 68-70.
- Bozzetto S (2012). Alimenti, foraggi ed energia: il nuovo futuro dell'agricoltura. *Biogas informa*, rivista del consorzio italiano biogas e gassificazione 4: 12-15.
- Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2013). Il diserbo della medica preserva produzione e qualità. *L'informatore Agrario* 69(8): 64-67.
- Campagna G, Meriggi P, Rapparini G (2011). Il contributo del diserbo chimico nella gestione integrata delle malerbe. In *Atti XVIII convegno SIRFI (Società Italiana Ricerca Flora Infestante)*, Bologna, 26 maggio 2011, pp. 41-53.
- Campagna G, Meriggi P, Rapparini G (2011). Quando conviene il diserbo preventivo del frumento. *L'informatore Agrario* 67(35): 50-57.

- Causin R, Cecchinato R, Bailoni L (2008). Meno fumonisine nel mais con semine anticipate, *L'informatore Agrario* 64(8): 55-58.
- Chauhan BS, Virender PS, Avnish K, Johnson DE (2011). Relations of rice seeding rates to crop and weed growth in aerobic rice. *Field crop research* 121: 105-115.
- Comegna E (2013). Greening, la tutela dell'ambiente conviene. *L'informatore Agrario* 69(32): 32-35.
- Covarelli G (1989). Possibilità e limiti del controllo agronomico delle erbe infestanti. In *Atti VII convegno SILM. Società Italiana per lo Studio della Lotta alla Malerbe*, Torino, 9-10 novembre 1989, pp. 85-95.
- CSC (Centro Studi Confagricoltura) (2013). Riforma della PAC: quanto pesa il greening. Bollettino flash, luglio 2013.
- Dahlquist RM, Prather TS, Stapleton JJ (2007). Time and temperature requirements for weed seed thermal death. *Weed science* 55: 619-625.
- Danuso F, Zanin G, Sartorato I (2012). A modelling approach for evaluating phenology and adaptation of two congeneric weeds (*Bidens frondosa* and *Bidens tripartita*). *Ecological Modelling* 243: 33-41.
- Di Mambro A (2013). Il Parlamento europeo vara la sua piattaforma per la nuova PAC. *L'informatore Agrario* 69(11): 8-9.
- Evans RM, Thill LS, Thapia BS, Lish JM (1991). Wild oat (*Avena fatua*) and spring barley (*Hordeum vulgare*) density affect spring barley grain yield. *Weed Technology* 5: 33-39.
- Ferrero A, Zanin G (2011). La gestione integrata delle malerbe (IWM): stato attuale e problematiche applicative. In *Atti XVIII convegno SIRFI "La gestione integrata delle malerbe: un vincolo o una opportunità per una produzione economicamente e ambientalmente sostenibile?"*, Bologna, 26 maggio 2011, pp. 19-40.
- Ferrero A, Vidotto F (2006). Inerbimenti del mais e loro rapporti con alcuni parametri pedoclimatici. In: *Caratteristiche agronomiche, economiche e ambientali dei diserbanti del mais: il caso studio della terbutilazina*, Cooperativa Terremerse, pp. 11-22.
- Firrao G, Torelli E, Gobbi E (2011). Micotossine: prevenire è molto meglio che curare. *Italian Journal of Agronomy* 6 : 24-27.
- Geminiani E, Campagna G, Rapparini G (2013). Quando conviene il diserbo preventivo del frumento. *L'informatore Agrario* 69(35): 50-57.
- GIRE, Gruppo Italiano Resistenza Erbicidi, 2013. Disponibile on line: <http://gire.mlib.cnr.it/>
- Guillerm JL, Maillet J, Sanon M, Barbier JM (1989). Variabilité des communautes d'adventices des rizieres en Camargue. In *Proceedings 4° EWRS Mediterranean Symposium*, Valencia, pp. 312-320.
- Hembree K, Shrestha A (2005). Biology, identification, losses and control options for horseweed and hairy fleabane in tree and vine crops in California's southern San Joaquin valley. Disponibile line: http://ucanr.org/sites/weed_management/files/71041.pdf.
- INEA, Istituto nazionale Economia Agraria (2011). I cereali, le colture industriali e le foraggere. 22, 337-361. Disponibile on line: http://www.inea.it/documents/10179/56536/Capitolo_22.pdf
- ISHRW, International Survey on Herbicide Resistant Weeds (2013). Disponibile online: <http://www.weedscience.org/summary/home.aspx>

- Lemerle D, Verbeek B, Cousens RD, Coombens NE (1996). The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* 36: 505-513.
- Lupotto E, Cavigiolo S, Piffanelli P (2008). Ricerca-Miglioramento genetico. In: *Il riso*. Angelini R, Bayer CropScience. pp 458-501.
- Maiorano A, Magni A, Ramponi C, Reyneri A (2007). Un aiuto nella gestione delle fumonisine del mais. *L'informatore Agrario* 63(22): 76-79.
- Mandula S (1999). La semina anticipata del mais, una tendenza che si sta affermando. *L'informatore Agrario* 55(8): 59-60.
- Mandula S (2012). Il biogas fatto bene: le giuste regole comportamentali. *Biogas informa, rivista del consorzio italiano biogas e gassificazione* 4: 26-29.
- Marshall EJP e Moneen AC (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment* 89: 5-21.
- Meziere D, Lucas P, Granger S, Colbach N (2013). Does integrated weed management affect the risk of crop diseases. A simulation case study with blackgrass weed and take-all disease. *European Journal of Agronomy* 47: 33-43.
- Montegut J (1982). Perennes et vivaces. INSERENVELOP Aubervilliers, France.
- O'Donovan JT, Harker KN, Clayton GW, Hall MH (2000). Wild oat (*Avena fatua*) Interference in barley (*Hordeum vulgare*) is influenced by barley variety and seeding rate. *Weed Technology* 14: 624-629.
- Piccinini S (2013). Situazione-trend di crescita del biogas in Italia e prospettive per il biometano. *Seminario Biogas e Biometano: una filiera energetica sostenibile*. Ravenna 14 marzo 2013.
- Rapparini G, Campagna G, Geminiani E (2013). Diserbo del riso: attenzione alle resistenze. *L'informatore Agrario* 53(13): 53-60.
- Romani M, 2013. Comunicazione personale.
- Sbriscia Fioretti C, Zanin G, Ferrario P, Vighi M (1998). Chemical characteristics: the case of herbicides in Italy. In: Swanson T, Vighi M (Eds.) *Regulating Chemical Accumulation in the Environment*. Cambridge University Press pp. 23-49.
- Scarabel L, Cenghialta C, Manuello D, Sattin M (2013). Monitoring and Management of Imidazolinone-Resistant Red Rice (*Oryza sativa* L., var. *sylvatica*) in Clearfield® Italian paddy rice. *Agronomy* 2: 371-383.
- Smith H, Firbank LG, Macdonald DW (1999). Uncropped edges of arable fields managed for biodiversity do not increase weed occurrence in adjacent crops. *Biological Conservation* 89: 107-111.
- Sudianto E, Ben-Kah S, Ting-Xiang N, Saldain NE, Scott RC (2013). Clearfield rice: its development, success and key challenges on a global perspective. *Crop Protection* 49: 40-51.
- Tamietti G, Valentino D (2001). Soil solarization: a useful tool for control of *Verticillium* wilt and weeds in eggplant crops under plastic in the Po valley. *Journal of plant pathology* 83: 173-180.
- Tesio F, Tabacchi M, Cerioli S, Follis F (2013). Sustainable hybrids rice cultivation in Italy. A review. *Agronomy sustainable development*. In stampa.
- Tosi L (2009). Primi danni economici anche in Francia e Romania. *Terra e Vita* 50(40): 31-32.

Trichard A, Alignier A, Chauvel B, Petit S (2013). Identification of weed community traits response to conservation agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179: 179-186.

Venturoli, 2013. Frumento ibrido. Disponibile on line: www.rv-venturoli.com/schede/RV_frum_ibrido_st.pdf

Vidotto F, De Palo F, Ferrero A (2013). Effect of short-duration high temperatures on weed seed germination. *Annals of applied biology* 163: 454-464.

Zanin G, Ferrero A, Sattin M (2011). La gestione integrata delle malerbe: un approccio sostenibile per il contenimento delle perdite di produzione e la salvaguardia dell'ambiente. *Italian Journal of Agronomy* 6(s2):e6 31-38.

EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA DINAMICA EVOLUTIVA DELLE MALERBE

VIDOTTO F.¹, MASIN R.², PANNACCI E.³, MARIANI L.⁴

1. Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari - Università di Torino

2. Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente – Università di Padova

3. Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Università degli Studi di Perugia

*4. Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia – Università di Milano
E-mail: francesco.vidotto@unito.it*

Riassunto

Negli ultimi 150 anni circa, la Terra è entrata in una fase di riscaldamento globale, che ha portato ad un aumento della temperatura globale di circa 0.7 °C. Parallelamente si sta registrando un aumento della CO₂ nell'atmosfera. Il riscaldamento globale è stato anche accompagnato da variazioni nella frequenza e distribuzione delle precipitazioni. In questa sede si partirà dall'ipotesi che tali fenomeni debbano perdurare nei prossimi decenni, sebbene le previsioni sui valori futuri delle variabili climatiche siano affette da un sensibile livello d'incertezza. I cambiamenti climatici possono modificare vari aspetti legati alle infestanti, quali l'areale di distribuzione, la produzione di biomassa e la sua allocazione fra i diversi organi, le dinamiche della banca semi e dell'emergenza, la lunghezza del ciclo vitale, la capacità competitiva, il carattere di invasività, l'efficacia delle tecniche di gestione e dell'impiego degli erbicidi in particolare. Appare necessario aumentare le conoscenze sulla biologia ed ecologia delle malerbe nel contesto dei cambiamenti climatici per modificare in modo efficace le attuali strategie di gestione.

Parole chiave

Cambiamenti climatici; Riscaldamento Globale; Biologia delle Malerbe.

Summary

Effects of climate change on weed dynamics

Recent history of Earth indicates that average temperature has risen by about 0.7 °C in the last 150 years. Meanwhile, atmospheric CO₂ concentration has also increased and rainfall distribution has changed in several areas. Climatic change may have a dramatic impact on weeds in terms of population dynamics and interactions crop-weed. Traits that may be affected by climate change in weeds include distributions, biomass production and allocation, seed bank and emergence dynamics, cycle length, competitiveness, invasiveness, management efficacy (in particular use of herbicides). In order to develop the most appropriate weed management programs for future scenario, climate change sets as mandatory a better knowledge of biology and ecology of weeds.

Keywords

Climate Change, Global Warming, Weed management.

Cambiamento climatico e relative cause

Per un certo luogo o territorio si definisce cambiamento climatico ogni variazione significativa negli indici statistici (di tendenza centrale e/o di variabilità) caratteristici di una o più variabili meteorologiche (temperatura, umidità, precipitazione, vento, radiazione, ecc.). La paleoclimatologia mostra con evidenza che la tendenza al cambiamento è uno dei tratti più caratteristici del clima del nostro pianeta fin dalle sue origini (Wainer et al., 2013). Limitandoci agli ultimi 1000 anni, dopo la fase calda dell'optimum climatico medioevale e la fase fredda della piccola era glaciale, dal 1850 circa siamo entrati in una fase di "riscaldamento globale" (o *global warming* – GW) che a livello globale ha fin qui prodotto un aumento complessivo di 0.7 °C e che ha visto tre fasi di aumento delle temperature (1850-1880, 1920-1945 e 1977-1998) alternarsi a tre fasi di relativa stabilità, fra cui quella in atto, apertasi nel 1999 (Figura 1).

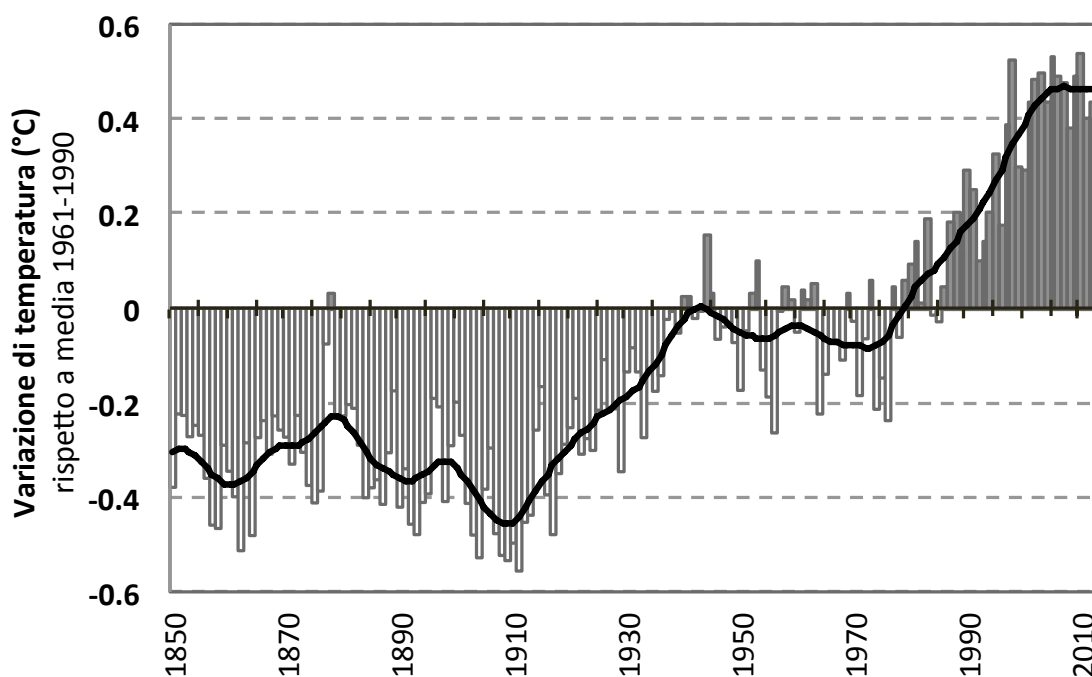


Figura 1. Andamento delle temperature globali dal 1850 al 2012 (<http://www.cru.uea.ac.uk/>). In complesso le temperature globali sono aumentate di circa 0.7 °C. Si notino anche le tre fasi di incremento (1850÷1880, 1910÷1945 e 1977÷1998) alternate a fasi di stazionarietà o lieve diminuzione (1881÷1909, 1946÷1976 e da 1999 ad oggi).

Se poi miriamo la nostra attenzione al clima europeo degli ultimi 50 anni, l'elemento saliente appare costituito dal cambiamento climatico brusco (Mariani et al., 2012) che ha interessato l'areale euro-mediterraneo alla fine anni '80 del XX secolo e che ha portato le temperature ad aumentare in media di 1 °C (Figura 2).

Nello specifico, le caratteristiche più salienti del clima dell'Europa occidentale a valle del 1987 e rispetto a quello del periodo precedente sono le seguenti (Maggiore e Mariani, 2013):

- a nord del 48° parallelo: la temperatura media annua aumenta di 0.5 °C, la precipitazione aumenta, la radiazione solare globale cala, l'evapotraspirazione da coltura di riferimento è stazionaria e l'aridità cala;
- a sud del 48° parallelo: la temperatura media annua aumenta di 1.5 °C, la precipitazione cala (seppur con molte eccezioni), aumentano radiazione solare globale, evapotraspirazione da coltura di riferimento e aridità.

Per l'Europa meridionale, Italia inclusa, il cambiamento climatico del 1987 si è tradotto in una maggior frequenza dei periodi di siccità e delle ondate di calore (European Commission, 2007; Miraglia et al., 2009; Lovelli et al., 2012)

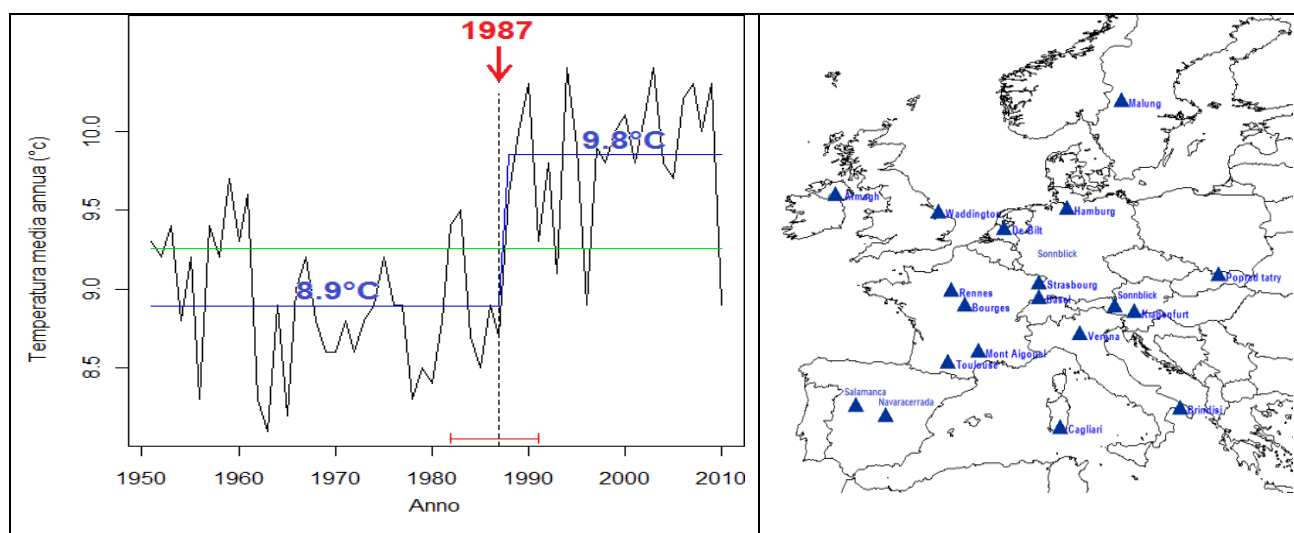


Figura 2. Diagramma delle temperature medie annue di 19 stazioni europee per il periodo 1951-2010 (dati disponibili: 98.4%). Con il 99% di probabilità la discontinuità ricade fra 1982 e 1991. Anno più probabile di discontinuità = 1987 (media 1951-1987= 10.1 °C; media 1988-2009= 11.0 °C). Analisi di discontinuità eseguita con la libreria statistica *strucchange* – R Cran.

Alle radici di tali fenomeni sta la brusca riconfigurazione della circolazione generale che ha portato ad una modifica della frequenza e persistenza dei diversi tipi di tempo (anticicloni, saccature atlantiche, depressioni isolate, ecc.) che interessano l'area euro-mediterranea. A tale riguardo un elemento chiave è il fatto che l'area a dominio anticiclonico nel corso della stagione vegetativa (marzo-agosto) si è portata più a nord rispetto alla posizione media del periodo precedente al 1987, passando ad esempio dalla pianura padana alla Germania centrale (600 km più a nord) (Figura 3).

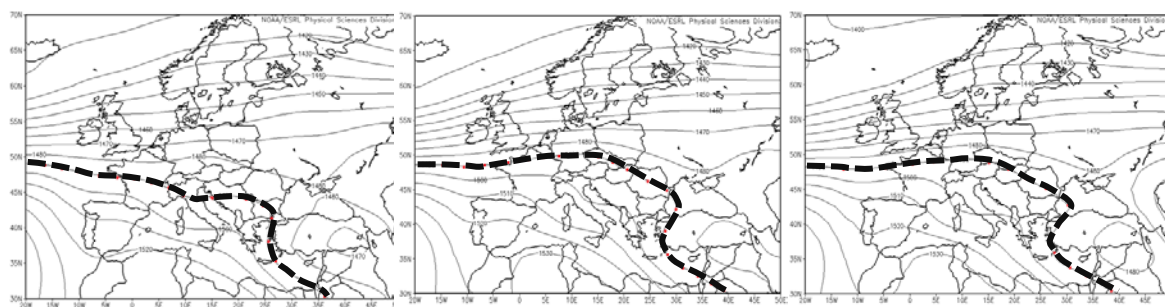


Figura 3. Limite medio dell'area a dominio anticiclonico (indicato dall'isoipsa di 1490 m per il livello barico di 850 hPa linea puntinata) per il periodo marzo - agosto e per i periodi, da sinistra a destra, 1968-87, 1988-2003 e 2004-2011 (nostre elaborazioni su dati NOAA – NCEP). Si noti che il limite dell'anticiclone, sull'Appennino Tosco Emiliano nel 1968-87, si sposta sulla Francia del Nord nei due periodi successivi. Si noti anche che la sua posizione non cambia significativamente nel periodo 2004-2011 rispetto al 1988-2003, il che attesta la sostanziale stazionarietà della nuova fase climatica a valle del cambiamento climatico del 1987.

Circa le cause del *global warming* la comunità scientifica ha fin qui avanzato due principali teorie. La prima teoria, maggioritaria, è la teoria dell'*Anthropogenic Global Warming* (teoria AGW) e sostiene che la causa del GW sia l'aumento della concentrazione di CO₂ atmosferica prodotta dalle attività umane mentre la seconda (teoria solare) chiama invece in causa l'accresciuta attività della nostra stella registratasi nel corso del XX secolo.

Entrambe le teorie hanno come sostanziale elemento di debolezza il fatto che il fattore da esse posto all'origine del riscaldamento globale (CO₂ per la prima ed attività solare per la seconda) sono di per sé troppo deboli per giustificare un aumento importante delle temperature del pianeta. Ad esempio, in base alle leggi fondamentali della fisica, il passaggio della CO₂ atmosferica dai livelli pre-industriali (280 ppmv) a quelli che al persistere dei tassi di incremento attuali sono attesi per il 2100 (560 ppmv) produrrebbe un incremento di circa 1 °C (Mariani, 2012a).

Pertanto entrambe le teorie si sono viste costrette a cercare fattori di amplificazione e più nello specifico la teoria AGW ha individuato come amplificatore primario degli effetti della CO₂ atmosferica il feed-back positivo da vapore acqueo e nubi (di gran lunga i principali artefici dell'effetto serra terrestre, essendo accreditati del 75% dell'effetto complessivo, contro il 20% di CO₂) (Lacis et al., 2010; IPCC, 2007; IPCC, 2013) mentre la teoria solare ha individuato negli effetti planetari (Scafetta, 2012) ovvero nei raggi cosmici galattici (Kirkby et al., 2011) gli amplificatori dell'effetto della accresciuta attività solare. La disamina di tali argomenti esula dagli scopi di questa trattazione e si rinviando pertanto gli interessati a scritti specifici.

Effetti dell'aumento della concentrazione di CO₂

La concentrazione media di CO₂ nell'atmosfera terrestre è passata da 280 ppmv nell'epoca pre-industriale (fine del XVIII secolo) a 395 ppmv nel 2013, secondo i dati dell'Osservatorio di Mauna Loa nelle Hawaii, che presenta un ottimo livello di rappresentatività globale (l'intera serie dei dati è

reperibile presso ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_mm_mlo.txt). Nel periodo compreso fra il 2002 e il 2011, è stato stimato che l'emissione di CO₂ da attività umane sia cresciuta del 54% rispetto ai valori del 1990 (IPCC, 2013). Con gli attuali tassi di incremento (+1.95 ppmv/anno nel periodo 1996-2013 per Mauna Loa), la concentrazione di CO₂ è destinata a raggiungere 467 ppmv nel 2050 e 565 ppmv nel 2100.

Attraverso il processo fotosintetico, le piante utilizzano la CO₂ atmosferica come fonte di carbonio per la produzione di composti organici. Si ritiene che se si riportasse la CO₂ atmosferica dai livelli attuali a quelli del 1750 (280 ppmv) le principali colture manifesterebbero cali di resa compresi fra il 25 ed il 40% (Araus et al., 2003). Il lungo processo evolutivo che ha portato ai meccanismi fisiologici e alle strutture anatomiche attualmente diffusi nel regno vegetale sembra essere strettamente correlato ai principali cambiamenti climatici avvenuti durante la storia geologica terrestre. Si ritiene, ad esempio, che la notevole riduzione di CO₂ avvenuta circa 350 milioni di anni fa in coincidenza con la grande glaciazione carbonifera (Mariani, 2012b) sia la principale responsabile della comparsa delle foglie, fenomeno che ha richiesto circa 40-50 milioni di anni per completarsi (Beerling et al., 2001; Ceccarelli et al., 2010).

I bassi livelli atmosferici di CO₂ (circa 180 ppmv) che si sono registrati in coincidenza con le 15 grandi glaciazioni che hanno periodicamente colpito la Terra negli ultimi 2 milioni di anni (Mariani, 2012b), sembrano essere anche alla base della comparsa del *pathway* fotosintetico C₄, che rispetto al meccanismo C₃ comporta un vantaggio legato a sistemi di concentrazione che determinano una maggiore efficienza dell'utilizzo del carbonio atmosferico, vantaggio che tuttavia è destinato a ridursi man mano che la CO₂ atmosferica aumenta (Ehleringer e Monson, 1993; Benvenuti, 2011). Le differenze fisiologiche fra le specie C₃ e C₄ si riflettono in un diverso comportamento ecologico, almeno in termini di produzione di biomassa totale, che vede favorito uno o l'altro dei due gruppi, a seconda delle condizioni pedo-climatiche. In base a questo criterio, l'incremento della CO₂ atmosferica costituisce una pressione selettiva favorevole alle specie C₃, mentre le C₄ sarebbero favorite dall'aumento della temperatura (Ziska, 2000; Hyvönen, 2008), sebbene in letteratura siano riportati casi discordanti (Williams et al., 2007). Poiché i due fenomeni (aumento di CO₂ e di temperatura) si stanno spesso manifestando in contemporanea, è difficile prevedere quale gruppo di specie trarrà maggiore vantaggio dai cambiamenti climatici, in particolare nel caso delle malerbe (Olesen e Bindi, 2002). Gli effetti dell'aumento di CO₂ sulla vegetazione infestante sono inoltre indirettamente modificati dalla competizione con la coltura, la quale può a sua volta risultare più o meno competitiva in conseguenza della maggiore disponibilità di CO₂. In studi condotti in atmosfera arricchita di CO₂ nei quali soia (una specie C₃) è stata posta in competizione con *Chenopodium album* (specie C₃) o con *Amaranthus retroflexus* (specie C₄), è stato rilevato,

rispettivamente, un aumento delle perdite produttive (dal 28 al 39%) o una riduzione (dal 45 a 30%) delle medesime (Ziska, 2000). Nella soia è stato inoltre osservato un aumento del numero di baccelli prodotti a concentrazioni più elevate di CO₂ (Ziska, 2013b). Analoghi studi condotti utilizzando come coltura il sorgo (una specie C₄), hanno evidenziato un aumento significativo delle perdite di produzione nel caso di competizione, sia con specie C₃, sia con specie C₄ (Ziska, 2003b; Figura 4).

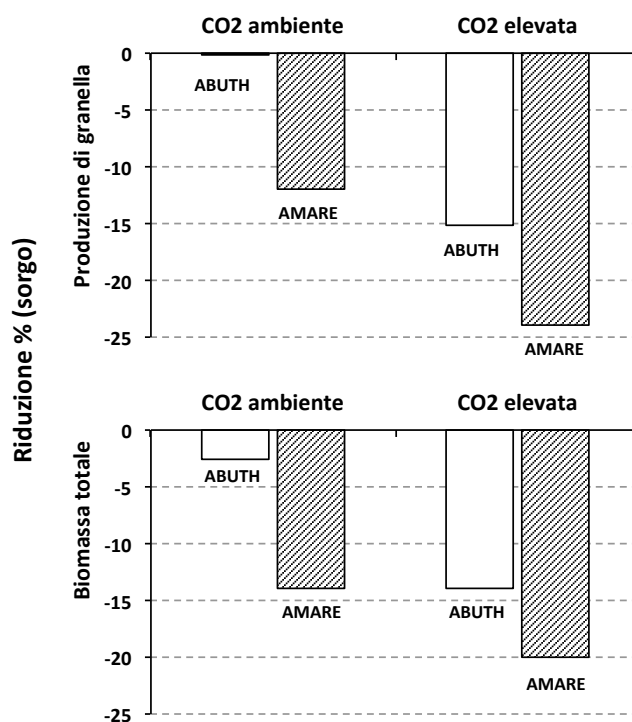


Figura 4. Riduzione percentuale di produzione di granella (grafico in alto) e di biomassa totale in sorgo cresciuto in competizione con *Abutilon theophrasti* o con *Amaranthus retroflexus*, in concentrazioni di CO₂ ambientali e in atmosfera arricchita (+250 mol/mol) di CO₂ (da Ziska, 2003b).

L'aumento di concentrazione di CO₂ sembrerebbe quindi determinare una riduzione delle perdite produttive solamente nelle associazioni coltura C₃-infestante C₄, mentre è prevedibile un aumento delle perdite di produzione in tutti gli altri casi. Questa valutazione deve tuttavia tenere conto del fatto che le infestazioni sono per lo più costituite da associazioni di specie diverse con diverso *pathway* fotosintetico e che pertanto la previsione della possibile evoluzione nelle diverse colture agrarie e nei diversi ambienti in funzione dei cambiamenti di concentrazione di CO₂ è affetta da un ampio margine di incertezza. Basti pensare, ad esempio, che tra le cinque specie infestanti del mais presenti nella realtà italiana e diffuse con una frequenza di almeno il 50%, tre sono C₃ (*C. album*, *Solanum nigrum* e *Polygonum persicaria*) e due sono C₄ (*Echinochloa crus-galli* e *A. retroflexus*) (Ferrero e Vidotto, 2006; Vidotto et al., 2013). L'interazione con altri fattori ambientali può inoltre modificare la risposta complessiva del sistema coltura/infestante. In questo senso, un peso

importante riveste la disponibilità idrica. In caso di disponibilità sub-ottimale, ad esempio, studi condotti su pomodoro (una specie C₃) hanno evidenziato un aumento delle perdite produttive dovute alla competizione con *A. retroflexus* (Valerio et al., 2011).

Altri effetti diretti dell'incremento della concentrazione della CO₂ atmosferica sono rappresentati da una riduzione della traspirazione, dovuta a minore densità stomatica e apertura stomatica media, e da un minor tasso di respirazione (Drake et al., 1997; Olesen e Bindi, 2002).

Oltre agli effetti sulla biomassa totale prodotta, alcune specie rispondono alle variazioni di concentrazione di CO₂ atmosferica con una diversa allocazione della biomassa. In atmosfera arricchita di CO₂, *Cirsium arvense* ha manifestato un aumento del rapporto fra biomassa radicale e biomassa epigeica, mostrando inoltre una minore sensibilità all'applicazione di glifosate, probabilmente a causa dell'effetto "diluizione" determinato dalle maggiori dimensioni degli organi di riserva (Ziska et al., 2004b). Più in generale, alcuni autori ritengono che con l'aumento della CO₂ atmosferica saranno favorite le specie dotate di organi sotterranei di moltiplicazione (Mahajan et al., 2012). Una diversa allocazione della biomassa potrebbe inoltre aumentare il rapporto C:N negli organi interessati, con possibili ripercussioni sull'impatto di possibili organismi limitatori, insetti fitofagi in particolare (Kriticos et al., 2011).

Variazioni possono riguardare anche la fenologia e la produzione di strutture legate alla riproduzione. Una delle specie maggiormente studiate in questo senso è *Ambrosia artemisiifolia*. L'interesse verso questa asteracea è probabilmente dovuto alla particolare caratteristica di costituire una minaccia sia sul piano sanitario (produzione di polline allergenico), sia come infestante delle colture agrarie. In condizioni di concentrazione di CO₂ simili a quelle previste per la fine del XXI secolo, *A. artemisiifolia* produce una quantità di biomassa totale e di polline superiori a quella prodotta nelle attuali condizioni di concentrazione di CO₂, ma solo per le coorti sviluppatesi a metà o verso la fine della stagione di crescita (Rogers et al., 2006). Tale comportamento potrebbe aggravare la pericolosità di questa specie, in quanto aumenterebbe ulteriormente la persistenza del polline nell'atmosfera, allungando il periodo di disagio per le persone sensibili e aumentando il rischio di sensibilizzazione nella popolazione non sensibile. La maggiore concentrazione di CO₂ nelle aree urbane, associata all'effetto di "isola di calore" tipico degli insediamenti urbani, potrebbe acuire ulteriormente il problema proprio nelle zone in cui è più elevata la densità della popolazione esposta (Ziska et al., 2003a; Ziska et al., 2004a).

Effetti dell'aumento della temperatura

L'aumento della temperatura media può avere delle pesanti ripercussioni sulle dinamiche delle infestazioni. Gli aspetti che vengono influenzati da questo fenomeno sono molteplici e riguardano,

tra i più importanti, l'areale di distribuzione delle singole specie (Hyvönen, 2008; Wilson et al., 2009; Clements e DiTommaso, 2011; Juroszek e von Tiedemann, 2013), la lunghezza complessiva del ciclo vitale e la durata relativa delle fasi vegetativa e riproduttiva (Benvenuti, 2011; Ziska e Beggs, 2012), la sincronizzazione tra fotoperiodo e termoperiodo ed i rapporti con organismi mutualistici (prevalentemente insetti) coinvolti nei fenomeni riproduttivi (Benvenuti, 2011), le dinamiche della banca semi (Hoyle et al., 2013) e l'efficacia delle tecniche di gestione, inclusa la persistenza degli erbicidi (Bailey, 2004).

Una tendenza generale conseguente al riscaldamento globale è lo spostamento verso i poli delle aree di distribuzione di vari organismi, comprese le specie vegetali infestanti, grazie alla creazione di nuove nicchie con caratteristiche climatiche compatibili con i cardinali termici di germinazione e crescita delle diverse specie. Clements e DiTommaso (2011) riportano uno spostamento verso i poli di circa 6 km/anno dell'areale di distribuzione di 1700 organismi. Previsioni basate su proiezioni climatiche fornite da vari modelli *Atmosphere-Ocean Global Circulation Model* (AOGCM) e su monitoraggi malerbologici riportano, ad esempio, uno spostamento verso nord dell'areale di distribuzione di *Sorghum halepense* negli USA variabile da 200 a 600 km entro il 2100 (McDonald et al., 2009).

Lo spostamento a nord non comporta necessariamente una effettiva espansione dell'areale di distribuzione di una determinata specie, in quanto è prevedibile una riduzione della presenza della stessa specie nelle regioni già precedentemente incluse nell'areale e che diverranno troppo calde. Un fenomeno di questo genere è previsto, ad esempio per *Lantana camara* in Australia (Taylor et al., 2012b) e per *Ranunculus acris* ssp. *acris* a livello mondiale (Bourdôt et al., 2013). Gli effetti dell'aumento della temperatura sulle aree di distribuzione possono assumere dinamiche significativamente diverse fra specie presenti negli ambienti naturali e specie infestanti le colture agrarie. Le condizioni ambientali determinate dalla pratica agricola, ed in particolare le diverse condizioni di umidità del suolo legate alle lavorazioni, alla successione colturale e, soprattutto, alle irrigazioni, possono risultare particolarmente favorevoli anche in zone dove l'ambiente naturale non consentirebbe l'affermazione di una certa specie. Un esempio è costituito da *A. theophrasti*, specie che è in grado di diffondersi come infestante in regioni a clima mediterraneo grazie al ricorso all'irrigazione (Holt e Boose, 2000). L'espansione verso degli areali di distribuzione delle infestanti segue, di fatto, il graduale spostamento verso i poli delle aree coltivate, conseguenza anch'esso dell'aumento globale della temperatura.

L'aumento della temperatura determina anche lo spostamento altitudinale della distribuzione delle specie, con un incremento della ricchezza specifica alle quote maggiori (Satrapová et al., 2013; Chown et al., 2013). Nello specifico si stima che il succitato aumento di 1.5 °C delle temperature

medie dell'Europa a sud del 48° parallelo determinato dal cambiamento climatico del 1987 darà luogo a regime ad un innalzamento in quota di 250-300 m degli areali delle specie spontanee e coltivate. Tuttavia, come nel caso dello spostamento in senso latitudinale, l'aumento delle specie infestanti sembra essere correlato con la variazione della tipologia e dell'intensità delle attività umane con la creazione di nuove nicchie ecologiche, sfruttate in particolare dalle specie esotiche (Marini et al., 2012; Tabella 1, Figura 5). Al riguardo non può essere trascurata la sensibile espansione degli areali a bosco ai danni delle aree a prevalente vegetazione erbacea (prati, pascoli, ecc.) che in Italia è in atto da quasi un secolo in ambito alpino ed appenninico (Conti e Fagarazzi, 2005).

Tabella 1. Analisi della relazione fra ricchezza specifica densità abitativa e temperatura (in termini lineari e quadratici), diversità degli habitat e presenza di calcare, suddivisa fra specie native ed esotiche. In tabella sono riportati i coefficienti di regressione standardizzati (β) e i valori di probabilità associati. L'analisi si riferisce all'insieme del gradiente altitudinale delle province di Bergamo e Brescia (da Marini et al., 2012).

Variabile esplicativa	Native		Esotiche	
	β	P	β	P
densità abitativa (lineare)	0.147	0.054	-0.041	0.867
densità abitativa (quadratico)	–	–	0.594	0.007
temperatura (lineare)	0.189	< 0.001	0.018	0.910
temperatura (quadratico)	-0.484	0.025	0.411	0.003
diversità degli habitat (lineare)	0.495	< 0.001	–	–
presenza di calcare (lineare)	0.284	< 0.001	–	–

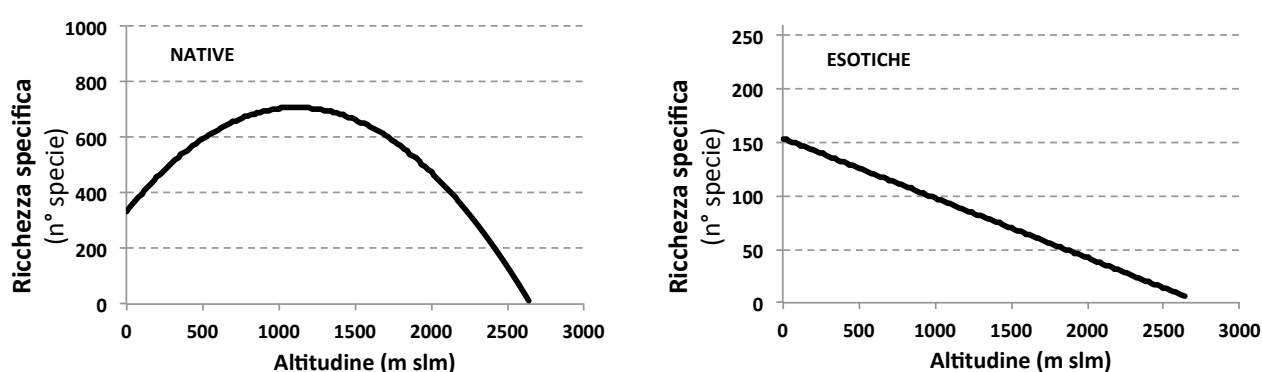


Figura 5. Relazione fra altitudine e ricchezza specifica di specie native ed esotiche nelle province di Bergamo e Brescia (da Marini et al., 2012).

Recenti studi hanno evidenziato come l'effettiva capacità delle malerbe di adattarsi ai cambiamenti climatici, e all'aumento di temperatura in particolare, sia da attribuire non solo alla loro diffusa plasticità fenotipica, ma anche al loro potenziale evolutivo. Le piante infestanti, e soprattutto quelle

con comportamento invasivo collocate nei margini più a nord del loro areale di diffusione, sono in grado di adattarsi alle temperature più basse e alla durata più breve del ciclo vegetativo, grazie a una serie di elementi adattativi, quali ad esempio una maggiore precocità, la produzione di foglie e semi di maggiori dimensioni (Clements e DiTommaso, 2011). In questo senso, previsioni sulla futura espansione delle infestanti risultano piuttosto complesse e incerte, in quanto non dovrebbero considerare esclusivamente le attuali esigenze ambientali medie, ma dovrebbero includere anche i fattori evolutivi e i processi di adattamento (Juroszek e von Tiedemann, 2013). In questo senso, specie diverse possono rispondere all'evoluzione climatica in modo differenziato, a seconda delle principali caratteristiche legate al potenziale di diffusione (Tabella 2).

Tabella 2. Importanza relativa delle principali caratteristiche di invasività di alcune specie, ai fini di una loro possibile adattamento evolutivo a seguito di cambiamenti climatici (da Clements e DiTommaso, 2012).

Caratteristica	Importanza relativa della caratteristica			
	<i>Impatiens glandulifera</i>	<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Fallopia japonica</i>	<i>Sorghum halepense</i>
Elevato tasso di crescita	++	+	++	+
Ampia tolleranza climatica o ambientale	++	++	++	++
Brevità del ciclo	+	+	+	+
Elevata capacità riproduttiva	++	++	++	+
Capacità di modificare le dimensioni del seme	++	++	+	+
Dispersione efficace	++	–	++	+
Capacità di moltiplicazione agamica e/o riproduzione uniparentale	–	+	+ / –	+
Assenza di fabbisogni particolari per la germinazione	+	–	+ / –	–
Elevata capacità competitiva	+	++	++	++
Difese efficaci contro i nemici naturali	?	+	?	?

In termini competitivi, variazioni di temperatura anche limitate possono avere delle ripercussioni significative (Patterson, 1995). E' verosimile che con l'aumento delle temperature saranno favorite in particolare le macroterme, per le quali è prevedibile, oltre a una maggiore precocità nell'emergenza, il prolungamento della fase riproduttiva, soprattutto in quelle specie (come ad esempio le solanacee) che presentano una crescita fisiologicamente indeterminata, attualmente limitata dall'abbassamento termico autunnale (Benvenuti, 2011).

Con l'aumento delle temperature è inoltre prevedibile che si intensifichino i fenomeni di desincronizzazione fra foto- e termoperiodo già osservati in vari ambienti (Peñuelas et al., 2002; Fuhrer, 2003), quali l'aumento della frequenza di fioritura nel corso di autunni miti in specie tendenzialmente longidurne. Questo sfasamento ecologico potrebbe favorire le specie che non necessitano di mutualismo con animali per la disseminazione o l'impollinazione (Benvenuti, 2011).

Possibili implicazioni dell'aumento della temperatura sulla dinamica di emergenza delle infestanti

La previsione della dinamica di emergenza delle infestanti è un argomento da molto tempo oggetto di studio (Stoller e Wax, 1973; Ogg e Dawson, 1984; Bewick et al., 1988; Benech Arnold et al., 1990; Grundy, 2003) perché ritenuta fondamentale per ottimizzare le strategie di lotta. La capacità di prevedere le emergenze infatti può aiutare ad ottimizzare la tempistica degli interventi di controllo delle infestanti, aumentare l'efficacia dei metodi di controllo e ridurre l'uso degli erbicidi attraverso la gestione integrata delle malerbe, combinando cioè pratiche culturali e metodi di controllo biologici, fisici e chimici (Buhler et al., 2000). Ciascuna specie infestante mostra caratteristici flussi di germinazione ed emergenza durante il ciclo colturale. Nella pratica, prevedere le emergenze significa conoscere in ogni momento la percentuale di infestanti già presente in campo, che è quindi possibile controllare con un intervento eseguito oggi, e quante infestanti potrebbero emergere nei giorni successivi. Premette quindi di decidere se sia meglio intervenire oggi o attendere qualche giorno prima di eseguire il trattamento erbicida o il controllo meccanico. Inoltre poiché il momento di emergenza delle malerbe relativamente alla coltura influenza la competizione, prevedere la dinamica delle malerbe significa anche saper meglio valutare la potenziale perdita di resa che può essere provocata dalle diverse coorti di infestanti emerse durante il ciclo colturale (Masin et al., 2011).

I primi modelli previsionali erano basati sul concetto di *Growing Degree Days* (GDD) o tempo termico (Bewick et al., 1988; Satorre et al., 1985). In questi, la dinamica delle emergenze veniva descritta considerando la temperatura come unico fattore in grado di influenzare le fasi di germinazione-emergenza. I modelli più recenti considerano anche il potenziale idrico del suolo come fattore che insieme alla temperatura può regolare l'emergenza e si basano dunque sul concetto di "tempo idrotermico" (Alvarado e Bradford, 2005; Ekeleme et al., 2005; Larsen et al., 2004; Leguizamón et al., 2005; Masin et al., 2005; Masin et al., 2012). Questo ultimo concetto ha permesso un notevole miglioramento della capacità previsionale e ha fornito un metodo sufficientemente robusto per capire come i fattori ambientali interagiscono per determinare una certa dinamica di emergenza nel tempo (Bradford, 2002). Grazie all'uso del tempo idrotermico la previsione delle emergenze ha avuto un impulso importante che ha portato anche allo sviluppo di modelli di utilizzo pratico come ad esempio WEEDCAST (Archer et al., 2001) in USA e AlertInf (Masin et al., 2012) in Italia. Dato che questi modelli sono basati su temperatura e potenziale idrico del suolo, possono essere utilizzati per fare delle previsioni sullo spostamento delle emergenze nel caso di scenari con temperature medie superiori a quella attuale di 1, 2 o più °C come previsto da vari modelli di previsione climatica.

Per effettuare le simulazioni della dinamica di emergenza nei diversi scenari di aumento di temperatura è stato utilizzato il modello AlertInf (Masin et al., 2012), sviluppato presso il dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova e disponibile nel sito web dell'ARPA Veneto

(www.arpa.veneto.it). Le simulazioni delle emergenze di sei tra le specie infestanti più diffuse nel mais in Italia sono state ottenute con i dati meteo reali misurati nell'anno 2010 nella stazione meteo dell'ARPA Veneto presso l'Azienda Agraria Sperimentale "Lucio Toniolo" dell'Università di Padova. Volendo esplorare il range di scenari proposti da IPCC (2013) sull'andamento delle temperature sino al 2100, per le stesse specie sono stati simulati scenari che prevedono un aumento della temperatura media di 1, 2 e 5 °C rispetto alla temperatura giornaliera misurata nel 2010. Lo scenario con aumento termico medio di 5 °C è stato scelto come caso peggiore, dato che i modelli riportano un aumento massimo di 4.8 °C nel 2100 (IPCC, 2013). In tutti gli scenari si considera una disponibilità idrica non limitante per la germinazione-emergenza. La preparazione del letto di semina è fissata al 3 aprile, data dalla quale ha inizio l'accumulo di tempo termico. La Figura 6 mostra le dinamiche di emergenza delle diverse specie nei diversi scenari di temperatura. In generale si nota un anticipo delle emergenze all'aumentare della temperatura media.

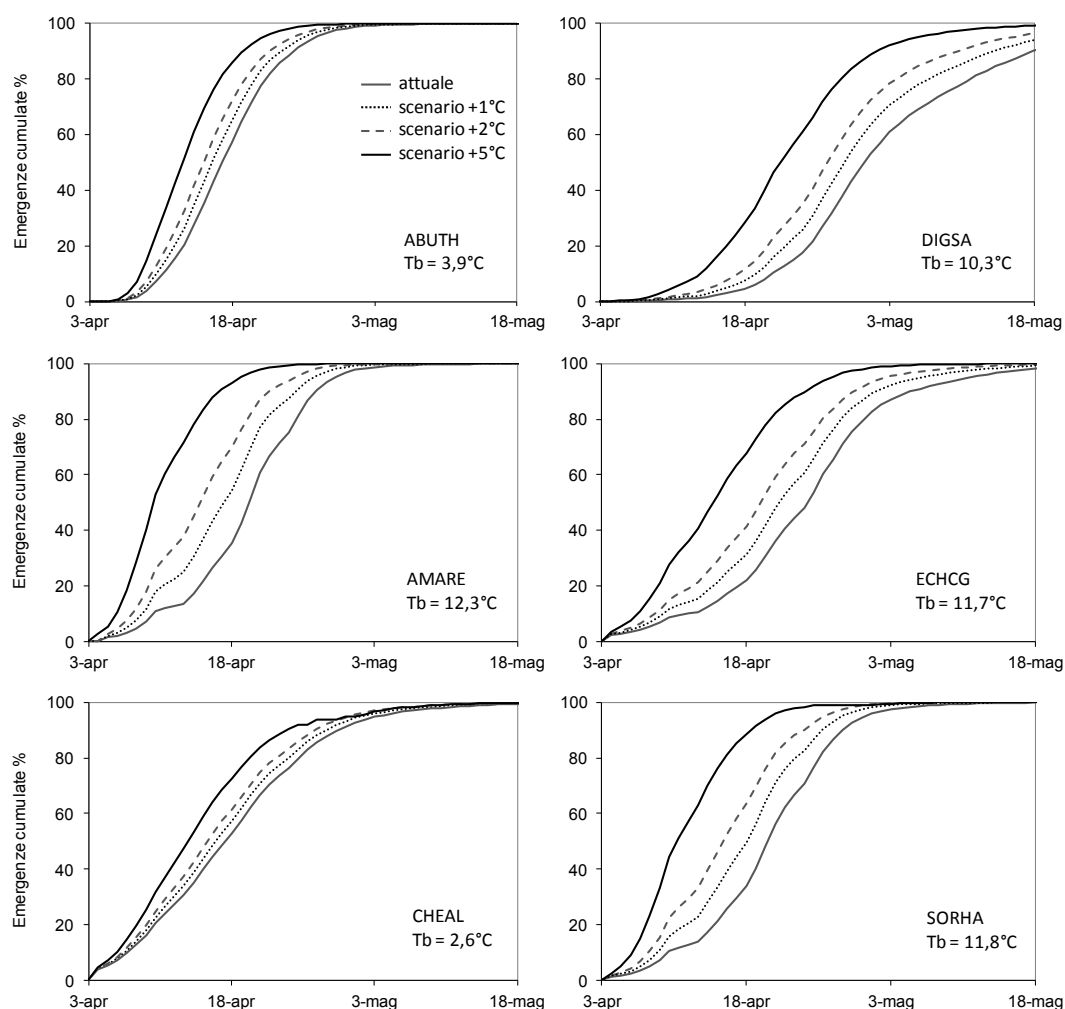


Figura 6. Dinamica di emergenza di sei tra le specie infestanti più diffuse nel mais in Italia in quattro diversi scenari termici (attuale e con temperatura media del periodo accresciuta di 1 °C, di 2 °C e di 5 °C), lo stress idrico non viene considerato. La data di preparazione del letto di semina è il 3 aprile. ABUTH: *Abutilon theophrasti*, DIGSA: *Digitaria sanguinalis*, AMARE: *Amaranthus retroflexus*, ECHCG: *Echinochloa crus-galli*, CHEAL: *Chenopodium album*, SORHA: *Sorghum halepense*.

Osservando la dinamica di emergenza dell'intera infestazione nei diversi scenari (Tabella 3; Figura 7) si nota che il generale anticipo delle emergenze dell'intera infestazione non va a modificare l'intervallo delle date del 50% (linee tratteggiate orizzontali nei grafici) delle emergenze tra le specie più precoci e le più tardive che si riduce di soli 2 giorni tra lo scenario attuale e quello con temperatura media superiore di 5 °C (da 14 a 12 giorni). L'intervallo di date che si riduce di più, passando da uno scenario a temperatura inferiore a uno a temperatura maggiore è quello dell'inizio delle emergenze (5%), che varia da 14 giorni nello scenario attuale a 11 e 10 giorni negli scenari intermedi, fino a 7 giorni in quello +5 °C. Nello scenario più estremo con aumento della temperatura di 5 °C, le infestanti tendono ad iniziare l'emergenza tutte nella stessa settimana, per poi seguire dinamiche con andamenti molto differenti, da molto veloci, con pendenza elevata della curva, a molto lenti, con bassa pendenza, ampliando nuovamente il range delle date in cui le diverse specie raggiungono le varie percentuali. Questa osservazione non è di poco conto se si tiene in considerazione che le malerbe che emergono contemporaneamente alla coltura sono anche quelle più competitive. Avere quindi un anticipo di emergenza e una concentrazione delle prime emergenze delle diverse specie significa avere una forte infestazione nelle fasi iniziali e dunque un'infestazione che può potenzialmente essere più competitiva.

Tabella 3. Date di raggiungimento del 5 (inizio), 50 e 95% (fine) di emergenza delle diverse specie in diversi scenari di aumento di temperatura (temperatura media attuale, incrementata di 1, 2 e 5 °C) ipotizzando il 3 aprile come data di preparazione del letto di semina.

Percentuale di emergenza				Percentuale di emergenza			
ABUTH	5%	50%	95%	DIGSA	5%	50%	95%
attuale	10-Apr	17-Apr	27-Apr	attuale	19-Apr	1-May	23-May
+ 1C	9-Apr	16-Apr	26-Apr	+ 1C	16-Apr	29-Apr	19-May
+ 2C	9-Apr	15-Apr	25-Apr	+ 2C	15-Apr	27-Apr	15-May
+ 5C	8-Apr	13-Apr	21-Apr	+ 5C	11-Apr	22-Apr	6-May
AMARE	5%	50%	95%	ECHCG	5%	50%	95%
attuale	8-Apr	20-Apr	29-Apr	attuale	8-Apr	25-Apr	11-May
+ 1C	7-Apr	18-Apr	27-Apr	+ 1C	7-Apr	22-Apr	6-May
+ 2C	6-Apr	15-Apr	25-Apr	+ 2C	6-Apr	20-Apr	2-May
+ 5C	5-Apr	10-Apr	19-Apr	+ 5C	5-Apr	15-Apr	27-Apr
CHEAL	5%	50%	95%	SORHA	5%	50%	95%
attuale	5-Apr	18-Apr	3-May	attuale	8-Apr	21-Apr	1-May
+ 1C	5-Apr	17-Apr	2-May	+ 1C	7-Apr	18-Apr	28-Apr
+ 2C	5-Apr	16-Apr	30-Apr	+ 2C	7-Apr	16-Apr	26-Apr
+ 5C	4-Apr	14-Apr	30-Apr	+ 5C	5-Apr	11-Apr	21-Apr

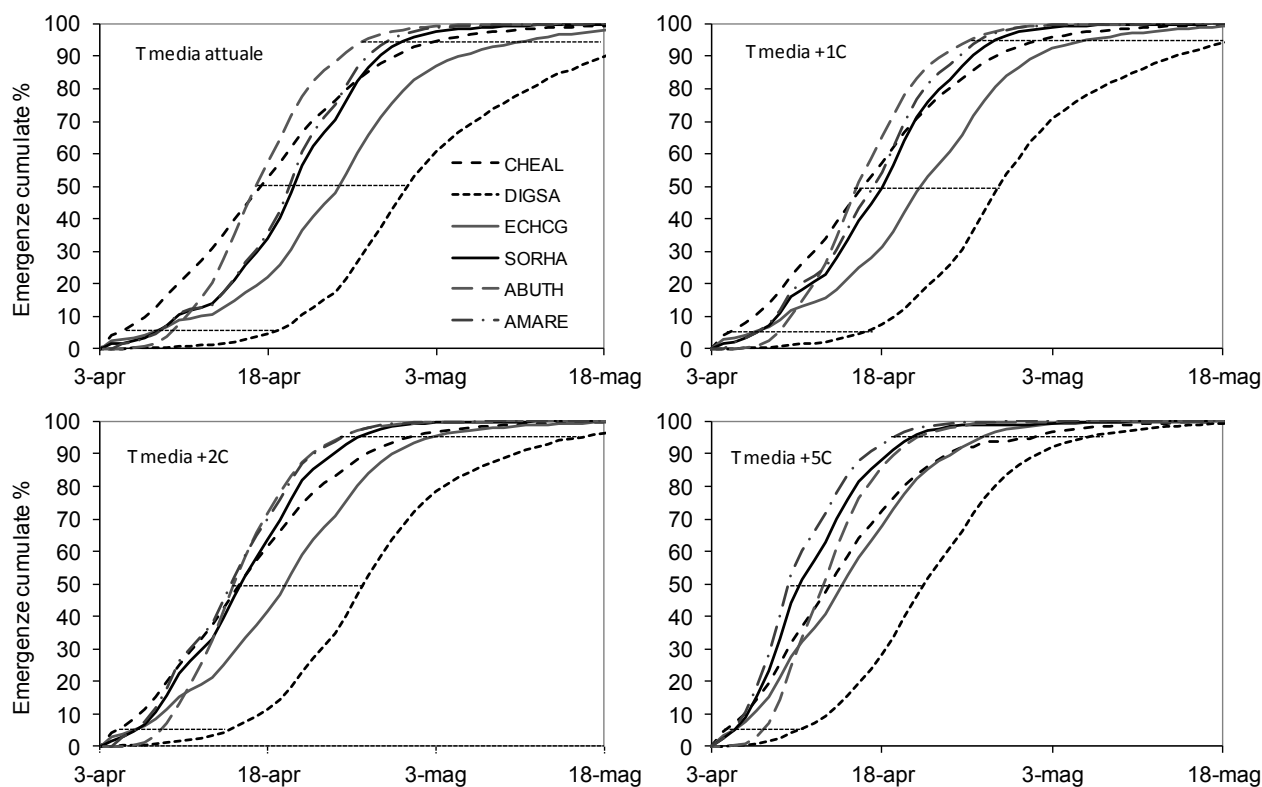


Figura 7. Confronto della dinamica di emergenza delle malerbe in 4 diversi scenari: attuale (T media attuale), con temperatura media incrementata di 1 °C (T media +1 °C), di 2 °C (T media +2 °C) e di 5 °C (T media +5 °C). La data di preparazione del letto di semina è per tutti gli scenari il 3 aprile.

Per un'analisi più completa sarebbe necessario mettere in relazione lo spostamento temporale delle emergenze delle infestanti con lo sviluppo della coltura, anch'esso influenzato dall'aumento delle temperature, che potrebbe annullare il vantaggio competitivo delle infestanti dovuto all'anticipo di emergenza. Altro fattore fondamentale, e non considerato in queste simulazioni, è la disponibilità idrica. Periodi di carenza idrica possono posticipare l'emergenza determinando delle pause seguite da flussi "concentrati" di emergenza in corrispondenza delle piogge. Purtroppo data la difficoltà di prevedere la variazione della distribuzione delle piogge dovuta ai cambiamenti climatici (vedi capitolo successivo), risulta altresì difficile fare delle ipotesi plausibili sulle dinamiche di emergenza.

Effetti delle variazioni degli eventi meteorici

Tra i principali cambiamenti climatici in atto, variazioni relative alle precipitazioni sembrano essere meno evidenti, sebbene vi sia una tendenza all'aumento delle piogge alle latitudini intermedie nell'emisfero boreale e ad un aumento delle regioni nelle quali è aumentata la frequenza degli eventi di maggiore intensità (IPCC, 2013). In tale contesto occorre segnalare il recentissimo studio condotto su 135 stazioni dell'areale euro-mediterraneo per il periodo 1973-2010 (Mariani e Parisi, in corso di stampa) che ha posto in evidenza l'assenza di tendenze significative dell'intensità degli

eventi precipitativi estremi. Tali conclusioni, contrarie a quelle precedentemente ottenute da altri autori (Alpert et al., 2002), trovano conforto nei dati paleoclimatici europei che mostrano che durante la fase fredda della Piccola era glaciale si è registrata una maggiore frequenza di eventi pluviometrici estremi rispetto alla fase calda medioevale (Wainer et al., 2013).

Rispetto alle variazioni di concentrazione di CO₂ e di temperatura, le previsioni sul futuro assetto delle precipitazioni sembrano essere affette da un maggiore grado di incertezza e, soprattutto, risulta molto difficile sviluppare previsioni valide a livello locale (Juroszek e von Tiedemann, 2013).

Tale incertezza costituisce un pesante fattore limitante per la stima delle future dinamiche delle specie infestanti, dal momento che vi è una sostanziale convergenza nel ritenere le condizioni idriche del terreno un fattore determinante nei rapporti competitivi infestanti-coltura e nella distribuzione delle malerbe (Holt e Boose, 2000; Valerio et al., 2011; Stratonovitch et al., 2012; Lovelli et al., 2012; Bourdôt et al., 2013; Valerio et al., 2013). Come visto precedentemente, in alcune specie la disponibilità di acqua fornita dall'irrigazione sarebbe in grado di sopperire ai limiti imposti dal regime termico. In alcune condizioni, tuttavia, come nel caso di *Ambrosia trifida* e *Helianthus annuus*, la dinamica delle popolazioni viene influenzata soprattutto dalla somma termica (Wortman et al., 2012).

Sebbene la disponibilità di acqua sia stata presa in considerazione in vari studi di carattere modellistico che includono previsioni sulla futura distribuzione di diverse specie di malerbe (Wilson et al., 2009; Kriticos et al., 2011), l'analisi degli effetti sulla flora infestante di fattori quali l'umidità del suolo, le diverse variabili climatiche ed i livelli atmosferici di CO₂ costituisce un ambito conoscitivo solo parzialmente indagato e dunque meritevole di approfondimento (Juroszek e von Tiedemann, 2013). Poiché le variazioni di temperatura e di umidità hanno un pesante effetto sulle dinamiche di emergenza, condizionando indirettamente gli effetti competitivi, assumono particolare rilevanza i modelli idrotermici di emergenza basati sulla previsione dell'andamento termo-pluviometrico (Masin et al., 2010; 2012). L'applicazione di tali modelli ha permesso, ad esempio, di evidenziare diverse soglie di potenziale idrico per l'emergenza in ecotipi di *A. retroflexus* provenienti da regioni diverse.

Criticità nella previsione della dinamica evolutiva delle malerbe a seguito dei cambiamenti climatici

Sebbene siano noti alcuni degli effetti che i cambiamenti climatici possono determinare sullo sviluppo delle infestanti, l'evoluzione globale delle comunità di malerbe nel contesto dei cambiamenti climatici in corso è comunque di difficile previsione.

Un primo elemento di incertezza è dovuto alle previsioni della variabilità futura del clima per

quanto concerne in particolare temperatura e precipitazioni, variabilità che viene simulata ricorrendo a modelli fisici basati sulla meccanica newtoniana della continuità, i cosiddetti GCM (*Global Climate Model*). A seconda del GCM adottato le previsioni possono variare sensibilmente, modificando a cascata le stime sulle evoluzioni delle popolazioni infestanti e sulle problematiche malerbologiche che dovranno essere affrontate in futuro. Per rendere l'idea dei livelli di incertezza da cui sono affetti i modelli che operano simulazioni delle temperature globali, in Figura 8 viene presentato il risultato del confronto fra dati osservativi (linea nera) e modelli GCM allo stato dell'arte (bande grigie) (Taylor et al., 2012a). Si osservi che, stante la sostanziale stazionarietà delle temperature globali che si sta manifestando dal 1999, le misure stanno uscendo dalle bande d'inviluppo degli output dei modelli. Si osservi anche che negli anni più recenti i modelli manifestano una palese sovrastima della variabilità interannuale delle temperature globali. Tutto ciò dovrebbe indurre ad un uso assai prudente degli output dei GCM come input di modelli biologici tesi a descrivere il comportamento futuro delle malerbe.

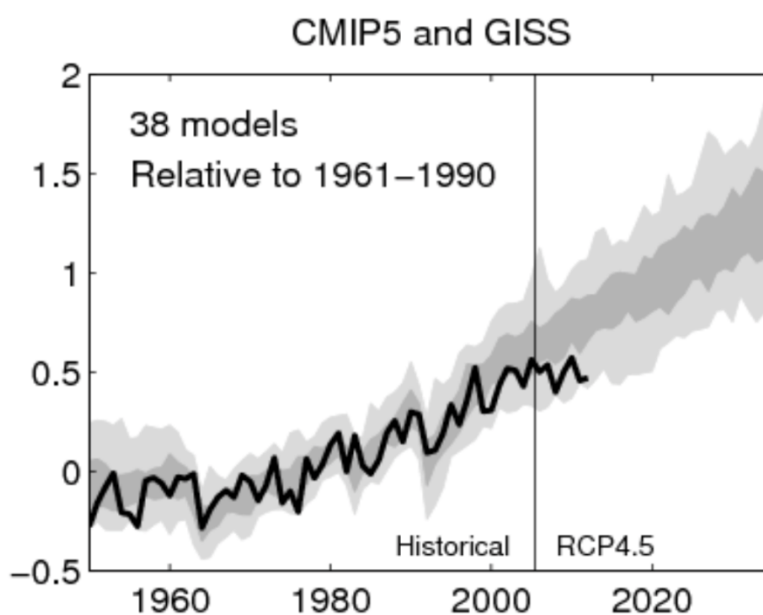


Figura 8. Confronto fra le misure da stazioni al suolo e le simulazioni operate con 38 modelli GCM utilizzati in ambito IPCC. Sull'asse delle ascisse è riportata l'anomalia in °C rispetto alla temperatura media globale 1961-1990. Le bande grigio scuro e grigio chiaro sono rispettivamente le linee d'inviluppo del 50% e del 90% degli output dei GCM considerati. (fonte: Ed Hawkins - University of Reading - www.climate-lab-book.ac.uk/2013/updated-comparison-of-simulations-and-observations/). I dati dei modelli provengono da: WCRP (World Climate Research Programme) - CMIP5 Coupled Model Intercomparison Project (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>). I dati osservativi globali provengono da: GISS - <http://www.giss.nasa.gov>.

Occorre inoltre precisare che una inaccuratezza ancora più rilevante affligge le previsioni delle precipitazioni operate con i GCM (Anagnostopulos et al., 2010) e che l'incertezza viene enfatizzata quando agli output dei GCM si applicano modelli di *downscaling* che dalla macroscale (pixel di

qualche centinaio di km) scendono alla mesoscala (pixel di 50 km o meno).

La fisica del sistema atmosferico, in sostanza una grande macchina termica tenuta in moto dallo squilibrio continuamente imposto dal surplus di energia presente nella fascia intertropicale consente tuttavia di dire che, qualora il “riscaldamento globale” si ripresentasse in un prossimo futuro, subentrando all’attuale fase di stasi, lo scenario più probabile è quello di un maggior trasporto energetico equatore – poli, che si verificherebbe attraverso l’intensificazione della cella di Hadley che governa il tempo atmosferico nella fascia intertropicale e l’intensificazione delle grandi correnti occidentali, che governano il tempo alle medie latitudini. A tale tendenza della circolazione globale dovrebbe conseguire un incremento più sensibile delle temperature alle latitudini medio – alte, in coincidenza con un aumento delle precipitazioni al latitudini di 45-60° e ad una loro diminuzione fra 35 e 45°C (area mediterranea). Nella fascia intertropicale dovremmo invece assistere ad un incremento termico più modesto (Ziska e Beggs, 2012) accompagnato da un significativo incremento delle precipitazioni. Peraltro lo scenario circolatorio sopra delineato porterebbe a tre fenomeni fra loro contrastanti in termini di stimolo agli eventi pluviometrici estremi (Held, 1993): riduzione del gradiente termico superficiale polo-equatore (sfavorevole agli eventi estremi), aumento del gradiente termico in quota polo-equatore (favorevole agli eventi estremi) ed aumento del contenuto in vapore acqueo atmosferico (anch’esso favorevole agli eventi estremi).

Indipendentemente dagli effetti legati alla emissione di CO₂ in atmosfera per il consumo di combustibile fossile, l’attività umana può condizionare pesantemente le dinamiche delle malerbe. L’insieme delle agrotecniche adottate, e in particolare le tecniche di gestione delle malerbe, costituisce una pressione selettiva estremamente importante, che potrebbe in alcuni casi mascherare gli effetti del cambiamento climatico. Un altro elemento che aumenta l’incertezza delle previsioni è l’evoluzione della resistenza agli erbicidi. Questo fenomeno sta interessando un numero sempre maggiore di specie e la comparsa di nuove popolazioni resistenti sta assumendo un andamento quasi esponenziale, con oltre 400 casi attualmente riportati di resistenza a 148 diversi erbicidi a livello mondiale (Heap, 2013). E’ verosimile che la diffusione di questo fenomeno determinerà pesanti ripercussioni sulla gestione delle malerbe, rendendo ulteriormente difficile prevedere quali saranno le dinamiche evolutive. Aspetti di carattere economico, sociale, ambientale e normativo potranno inoltre causare, indipendentemente dal cambiamento climatico, variazioni anche rilevanti negli ordinamenti colturali, nelle modalità di lavorazione del terreno, nella fertilizzazione, nell’irrigazione, nell’adozione delle tecniche di contenimento delle malerbe, nella gestione complessiva dell’agroecosistema, generando una complessa serie di effetti di difficile previsione.

Implicazioni per la lotta

Gli effetti dei cambiamenti climatici sulla biologia ed ecologia delle malerbe, già illustrati in precedenza, comporteranno un impatto anche sulla loro gestione e lotta. In particolare, la lotta chimica, quale principale mezzo di controllo delle malerbe, potrebbe risultarne particolarmente influenzata: i fattori ambientali, quali temperatura, precipitazioni, vento, umidità atmosferica e del terreno, infatti, possono influenzare l'applicazione e l'efficacia degli erbicidi (Pannacci et al., 2010; Brown, 2001).

Per quanto riguarda gli erbicidi di pre-emergenza, la loro efficacia è in larga parte influenzata dalle caratteristiche del terreno. In particolare, una buona umidità del terreno favorisce l'attivazione degli erbicidi residuali migliorandone l'efficacia, mentre elevate temperature associate ad intensa radiazione luminosa e terreni asciutti possono ridurre l'efficacia, aumentando, per alcuni erbicidi, i fenomeni di volatilizzazione e fotodegradazione (Brown, 2008). La degradazione microbica di questi erbicidi è favorita da temperature ed umidità elevate nel terreno che ne riducono di conseguenza la persistenza, mentre condizioni ambientali siccitose possono rallentare la degradazione microbica con aumento della persistenza degli erbicidi residuali (Bailey, 2004). In quest'ottica l'eventuale riduzione della disponibilità idrica dei terreni, accompagnata da una maggior frequenza di periodi siccitosi in primavera-estate, renderebbe i trattamenti di pre-emergenza meno efficaci per le colture primaverili-estive, con aumento della persistenza degli erbicidi e dei possibili rischi di *carry-over* per le colture in successione (Singh et al., 2011). Questi aspetti potrebbero risultare particolarmente rilevanti nei sistemi colturali orticoli, interessati da un significativo impiego di erbicidi residuali in colture a ciclo breve. La tendenza all'instaurarsi di temperature più elevate in autunno-inverno, in presenza di una buona umidità dei terreni, potrebbe invece consentire di mantenere una buona efficacia dei trattamenti di pre-emergenza nelle colture a ciclo autunno-primaverile, riducendone tuttavia la persistenza e la durata dell'attività erbicida, come mostrato da Bailey (2004) con isoproturon. Quest'ultimo aspetto e la tendenza ad una minor efficacia dei trattamenti di pre-emergenza, potrebbero comportare la necessità di dover intervenire con ulteriori trattamenti in post-emergenza.

L'eventuale aumento della frequenza di fenomeni piovosi violenti potrebbe comportare maggiori rischi di fenomeni di ruscellamento e lisciviazione con conseguente aumento dei rischi di inquinamento ambientale da parte degli erbicidi in genere e di quelli residuali in particolare, cui potrebbe associarsi un maggior rischio di fitotossicità nei confronti delle colture (Bloomfield et al., 2006; Jursik et al., 2013).

Per quanto riguarda gli erbicidi di post-emergenza, è noto che buoni livelli termici associati ad una buona disponibilità idrica dei terreni determinino una buona attività metabolica delle malerbe in

condizioni di attiva crescita, favorendo, in tal modo, un buon assorbimento e traslocazione degli erbicidi fogliari con incremento della loro efficacia (Patterson et al., 1999). Condizioni ambientali siccitose possono invece ridurre l'efficacia degli erbicidi ad assorbimento fogliare: le malerbe cresciute in queste condizioni possono presentare cuticole più spesse, modificando la morfologia delle cere epicutcolari e la presenza di tricomi sulle foglie, con il risultato di una riduzione nella ritenzione fogliare, assorbimento e traslocazione dell'erbicida e di conseguenza una riduzione dell'efficacia dei trattamenti (Benvenuti, 2011; Bruce et al., 1996; Ren et al., 2007).

L'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, determinando una riduzione della densità stomatica e dell'apertura stomatica media, con conseguente riduzione della traspirazione delle malerbe, potrebbe ridurre l'assorbimento e la traslocazione degli erbicidi sia di pre sia di post-emergenza, limitandone l'efficacia (Patterson et al., 1999; Hayman e Sardras, 2006). In particolare, alcuni studi hanno messo in evidenza come l'aumento dei livelli di CO₂ nell'atmosfera possa determinare una riduzione dell'efficacia di glifosate nei confronti di malerbe annuali e perenni, quali *C. album*, *Elytrigia repens* e *Cirsium arvense* (Archambault, 2007; Ziska, 2003; Ziska e Runion, 2007; Ziska e Teasdale, 2000). In quest'ultima specie, la minor sensibilità a glifosate è risultata correlata all'aumento del rapporto fra biomassa radicale e biomassa epigeica, mostrato in condizioni di crescita in atmosfera arricchita di CO₂; ciò probabilmente a causa dell'effetto "diluizione" dell'erbicida, determinato dalle maggiori dimensioni degli organi di riserva (Ziska et al., 2004b). Il maggior accrescimento degli organi di riserva (rizomi, tuberi, bulbi, ecc.) nelle malerbe perenni potrebbe comportare maggiori difficoltà nel controllo e nella gestione di queste specie in futuro, rendendo determinante l'adozione di strategie integrate che combinino misure di tipo preventivo a misure di controllo vero e proprio (Mahajan et al., 2012). Resta, tuttavia, da stabilire se questo tipo di risposta sia ubiquitaria nelle malerbe perenni (Ziska et al., 2009).

Archambault (2007) ha mostrato come l'incremento della temperatura e della concentrazione di CO₂ in ambiente controllato abbia ridotto l'efficacia di glufosinate-ammonio nei confronti di avena selvatica (*Avena spp.*) (Figura 9).

Gli effetti dei cambiamenti climatici sui rapporti malerbe-erbicidi, fin qui menzionati, potranno, allo stesso modo, interferire con l'accrescimento e lo sviluppo delle colture e di conseguenza sui rapporti colture-erbicidi, con possibili rischi di una riduzione della selettività degli principi attivi e aumento dei fenomeni di fitotossicità colturale (Ziska, 2013a).

I cambiamenti climatici e l'aumento della CO₂ potrebbero, inoltre, interferire nel controllo biologico naturale e nei programmi di lotta biologica alle malerbe. L'efficienza degli agenti per il controllo biologico potrebbe venire alterata dai cambiamenti nella morfologia, fenologia e riproduzione delle malerbe, indotti dagli aumenti di CO₂ nell'atmosfera

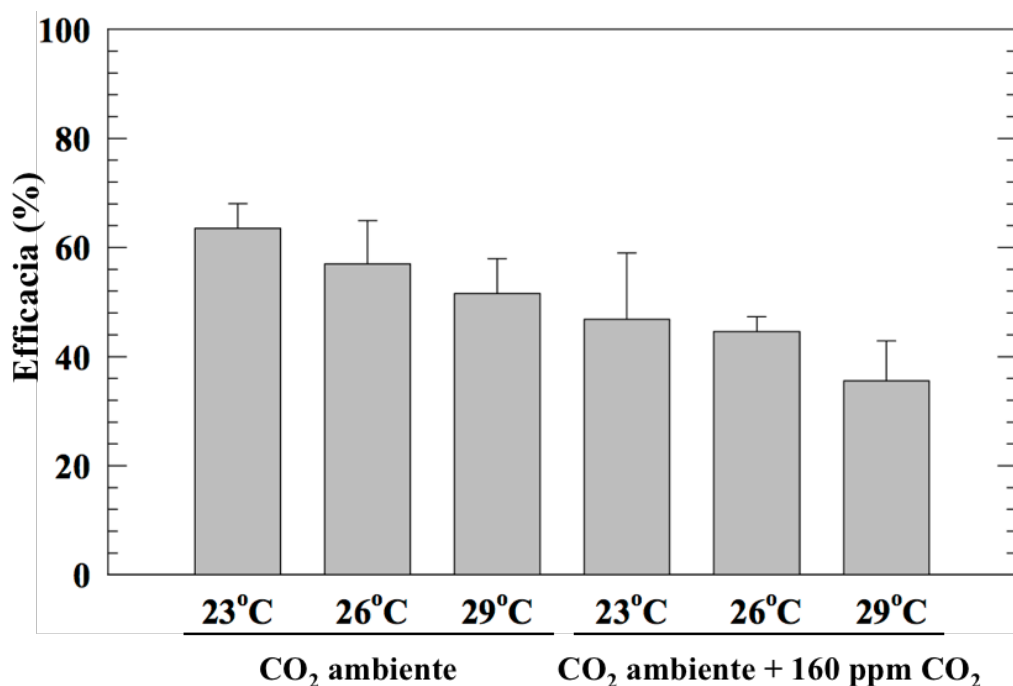


Figura 9. Efficacia di glufosinate ammonio nei confronti di avena selvatica (*Avena spp.*) cresciuta a diversi livelli di temperatura e concentrazione di CO₂ (da Archambault, 2007).

E' dubbio che la sincronia tra lo sviluppo e la riproduzione degli agenti di controllo biologico e delle relative malerbe *target* riesca a perdurare in periodi di rapido cambiamento climatico o condizioni climatiche estreme; se questo poi si tradurrà in un effetto positivo o negativo è ancora poco chiaro (Ziska, 2013a).

La riduzione nell'efficacia del controllo chimico delle malerbe, appare, quindi, tra le principali conseguenze dell'effetto dei cambiamenti climatici. In questo scenario, i sistemi agricoli fortemente dipendenti dall'uso degli erbicidi potrebbero risultare quelli maggiormente in difficoltà nella gestione delle malerbe e tra questi, in particolare, quelli basati sull'uso di colture resistenti o tolleranti agli erbicidi (Singh et al., 2011). Al contrario, l'adozione e lo sviluppo di sistemi di gestione integrata delle malerbe opportunamente adattati in funzione delle diverse aree geografiche e tendenze climatiche prevalenti, appare la strategia migliore per far fronte a possibili cambiamenti della flora infestante, ancora, tuttavia, difficili da prevedere (Juroszek e von Tiedemann, 2013).

In quest'ottica oltre alle ben note misure preventive di gestione delle malerbe (lavorazioni, falsa semina, idonee rotazioni colturali, *cover crops* e razionale uso della fertilizzazione e dell'irrigazione) e di aumento della competitività delle colture (scelta delle colture, delle varietà e dei sistemi di impianto più adatti alle condizioni ambientali di coltivazione) (Liebman e Davis, 2000), un ruolo fondamentale dovrebbe essere svolto dai mezzi diretti di controllo.

A tal proposito, lo sviluppo di nuovi erbicidi con *performances* meno dipendenti dalle condizioni ambientali, l'aggiunta di coadiuvanti (tensioattivi, bagnanti, oli, ecc.) nei trattamenti con erbicidi di

post-emergenza e la scelta dei momenti più opportuni per la loro esecuzione (mattina, sera o notte, in condizioni di temperatura e umidità relativa ottimali), potrebbero rappresentare delle misure di adattamento alle variazioni climatiche al fine di migliorare l'efficacia del controllo chimico (Hayman e Sardras, 2006).

In maniera analoga, nei sistemi colturali irrigui, pur con le dovute limitazioni derivanti dalla ridotta disponibilità d'acqua, l'uso dell'irrigazione potrebbe assumere un ruolo fondamentale anche nel migliorare l'efficacia dei trattamenti erbicidi; ciò in considerazione dell'importanza delle condizioni idriche dei terreni ai fini di una buona efficacia degli erbicidi e dell'incertezza nelle previsioni sul futuro assetto delle precipitazioni, soprattutto a livello locale (Juroszek and von Tiedemann, 2013). Le irrigazioni di "attivazione", da eseguire dopo l'applicazione degli erbicidi di pre-emergenza, l'applicazione di erbicidi mediante l'irrigazione localizzata e la subirrigazione e la scelta di interventi irrigui per limitare condizioni di stress prima di trattamenti erbicidi di post-emergenza, potrebbero rappresentare delle misure rivolte ad aumentare l'efficacia dei trattamenti.

Il controllo meccanico delle malerbe, anche se da alcuni ritenuto potenzialmente meno efficace nei confronti delle malerbe perenni per la loro tendenza ad incrementare le dimensioni degli organi di propagazione vegetativa, potrebbe rappresentare, invece, una valida integrazione all'uso degli erbicidi per il controllo delle malerbe annuali. Le condizioni ambientali prevalentemente asciutte e siccitose, che alcune previsioni sui cambiamenti climatici prospettano, rappresentano spesso le condizioni ideali per il successo in termini di applicabilità ed efficacia dei mezzi meccanici (Lichtenhahn et al., 2005; Van der Weide et al., 2008). In maniera analoga, la pacciamatura e la solarizzazione potrebbero trovare sempre maggiori possibilità di applicazione nel controllo delle malerbe in situazioni ambientali caratterizzate da aumento della temperatura e della radiazione solare.

Conclusioni

L'evoluzione nel tempo delle principali caratteristiche delle variabili climatiche rappresenta uno dei tratti distintivi del clima terrestre. In particolare, nel corso delle ere geologiche e della storia più recente si sono succeduti periodi nei quali la temperatura media ha subito alterni aumenti e diminuzioni. A partire dal 1850 ha avuto inizio una fase di riscaldamento globale, che ha portato ad un aumento complessivo della temperatura di circa 0.7 °C. A questo fenomeno sono associati anche un aumento della concentrazione della CO₂ atmosferica ed un diverso assetto del ciclo idrologico a livello globale. Sebbene non vi sia un definitivo accordo nel mondo scientifico sui rapporti di causa-effetto che legano il riscaldamento globale e l'aumento di CO₂, quest'ultimo viene principalmente

attribuito al consumo di riserve fossili di carbonio da parte dell'uomo, incrementatosi in maniera drammatica a partire dall'inizio dell'era industriale.

In ogni caso, l'evoluzione delle caratteristiche climatiche determina inevitabilmente delle conseguenze di varia entità sulle piante e, più in generale, su tutti gli organismi viventi. Pur in misura minore rispetto ad altre avversità biotiche delle colture agrarie, le piante infestanti sono state oggetto di vari studi che hanno cercato di evidenziare la potenziale risposta ai cambiamenti climatici in termini fisiologici ed ecologici, anche al fine di ottenere previsioni circa le specie che potrebbero vedere accresciuta la loro importanza in futuro per maggiori capacità competitive e riproduttive/moltiplicative o a causa di un ampliamento del loro areale di distribuzione.

Gli studi hanno evidenziato che, sebbene siano spesso osservabili significative alterazioni di varie caratteristiche delle infestanti (epoca di emergenza, biomassa totale e sua allocazione, lunghezza del ciclo, caratteri anatomici, ecc.) a seguito dell'aumento della temperatura e/o della concentrazione di CO₂, i possibili futuri scenari sembrano presentare un basso livello di prevedibilità.

Le cause sono da ricercare sia nella incertezza delle previsioni della variabilità futura del clima, sia nella conoscenza ancora parziale dell'effetto di altre variabili climatiche, ed in particolare di quelle che determinano la disponibilità di acqua per le infestanti.

Analisi modellistiche condotte a livello globale sembrano suggerire che gli effetti del cambiamento climatico sulle piante infestanti siano prevalentemente di tipo indiretto, e conseguenti alle dinamiche (contrazione, espansione, traslazione) che coinvolgono gli areali di coltivazione delle diverse specie agrarie. Considerati i numerosi fattori che entrano in gioco nella scelta delle strategie di gestione delle infestanti, quali la presenza di resistenze, la convenienza economica, i vincoli legislativi, l'effettivo peso assunto dal cambiamento climatico nel condizionare l'evoluzione della flora infestante risulta pertanto di difficile valutazione.

È inoltre verosimile che i cambiamenti climatici si tradurranno nella necessità di rivedere in parte le strategie di gestione attualmente adottate, anche in conseguenza dei probabili effetti sul livello medio di efficacia degli erbicidi, sulla loro persistenza e sul loro destino ambientale.

In questo quadro, risulta quanto mai favorito un approccio gestionale basato su strategie di tipo integrato, modulate in funzione dell'area geografica e del cambiamento climatico prevalente. Quello che appare certo è, tuttavia, la necessità di incrementare le conoscenze sulla biologia ed ecologia delle malerbe nel contesto dei cambiamenti climatici in corso, al fine di poterle utilizzare nel ridefinire e/o adattare le strategie integrate di gestione, introducendovi nuove tecnologie e sistemi di supporto alle decisioni, con l'obiettivo di ottimizzare la gestione delle malerbe salvaguardando l'ambiente e le produzioni agricole.

Bibliografia

- Alpert P, Ben-Gai T, Baharad A, Benjamini Y, Yekutieli D, Colacino M, Diodato L, Ramis C, Homar V, Romero R, Michaelides S, Manes A (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters* 29: 31-1—31-4.
- Alvarado V, Bradford K (2005). Hydrothermal time analysis of seed dormancy in true (botanical) potato seeds. *Seed Science Research* 15: 77-88.
- Anagnostopoulos GG, Koutsoyiannis D, Christofides A, Mamssis N (2010). A comparison of local and aggregated climate model outputs with observed data. *Hydrological Sciences Journal* 55: 1094–1110.
- Araus JL, Slafer GA, Buxó R, Romagosa I (2003). Productivity in prehistoric agriculture: physiological models for the quantification of cereal yields as an alternative to traditional approaches. *Journal of Archaeological Science* 30: 681–693.
- Archambault DJ (2007). Efficacy of herbicides under elevated temperature and CO₂. In: Newton PCD, Carran RA, Edwards GR, Niklaus PA (Eds) *Agroecosystems in a Changing Climate*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 333–336.
- Archer DW, Forcella F, Eklund JJ, Gunsolus J (2001). WeedCast Version 2.0. www.morris.ars.usda.gov
- Bailey SW (2004). Climate change and decreasing herbicide persistence. *Pest Management Science* 60: 158–162.
- Beerling DJ, Osborne CP, Chaloner WG (2001). Evolution of leaf-form in land plants linked to atmospheric CO₂ decline in the Late Palaeozoic era. *Nature* 410: 352–354.
- Benech Arnold RL, Ghera CM, Sanchez RA, Insausti P (1990). A mathematical model to predict Sorghum halepense (L.) Pers seedling emergence in relation to soil temperature. *Weed Research* 30: 91-99.
- Benvenuti S (2011). Potenziale impatto dei cambiamenti climatici nell'evoluzione floristica di fitocenosi spontanee in agroecosistemi mediterranei. *Italian Journal of Agronomy* 4: 45–68.
- Bewick TA, Binming LK, Yandell B (1988). A degree-day model for predicting the emergence of swamp dodder in cranberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 113: 839-841.
- Bloomfield JP, Williams RJ, Gooddy DC, Cape JN, Guha P (2006). Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides in surface and groundwater - a UK perspective. *Science of the Total Environment* 369: 163–177.
- Bourdôt GW, Lamoureaux SL, Watt MS, Kriticos DJ (2013). The potential global distribution of tall buttercup (*Ranunculus acris* ssp. *acris*): opposing effects of irrigation and climate change. *Weed Science* 61: 230–238.
- Bradford KJ (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science* 50: 248-260.
- Brown K (2001). Environmental Impact on Herbicide Performance. In.: *Proceedings of 2nd Annual Manitoba Agronomists Conference*. University of Manitoba Winnipeg, Manitoba. pp 155–158. Disponibile on line: http://www.umanitoba.ca/faculties/afs/MAC_proceedings/2001/pdf/brown.pdf.
- Brown SM (2008). Drought impact on weed management. *Extension Bulletin. University of Georgia, College of Agricultural and Environmental Sciences Cooperative Extension*. Disponibile on line: [http://www.caes.uga.edu/topics/disasters/drought/commodities/weed management](http://www.caes.uga.edu/topics/disasters/drought/commodities/weed%20management).

- Bruce JA, Carey JB, Penner D, Kells JJ (1996). Effect of growth stage and environmental on foliar absorption, traslocation, metabolism and activity of nicosulfuron in quackgrass (*Elytrigia repens*). *Weed Science* 44: 447-454.
- Buhler DD, Liebman M, Obrycki JJ (2000). Theoretical and practice challenges to an IPM approach to weed management. *Weed Science* 48: 274-278.
- Ceccarelli S, Grando S, Maatougui M, Michael M, Slash M, Haghparsat R, Rahmanian A, Taheri A, Al-Yassin A, Benbelkacem A, Labdi M, Mimoun H, Nachit M (2010). Plant breeding and climate changes. *Journal of Agricultural Science* 148: 627–637.
- Chown SL, Roux PC le, Ramaswila T, Kalwij JM, Shaw JD, McGeoch MA (2013). Climate change and elevational diversity capacity: do weedy species take up the slack? *Biology Letters* 9: 20120806.
- Clements DR, DiTommaso A (2011). Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? *Weed Research* 51: 227–240.
- Clements DR, DiTommaso A (2012). Predicting weed invasion in Canada under climate change: Evaluating evolutionary potential. *Canadian Journal of Plant Science* 92: 1013–1020.
- Conti G, Fagarazzi L (2005). Avanzamento del bosco in ecosistemi montani: sogno degli ambientalisti o incubo per la società? Cause, aspetti ed impatti di una delle principali trasformazioni ambientali, territoriali e paesistiche del XX secolo in Italia. *PLANUM: The European on line- journal of planning* 11: 1-20.
- Drake BG, González-Meler MA, Long SP (1997). More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48: 609–639.
- Ehleringer JR, Monson RK (1993). Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 411–439.
- Ekeleme F, Forcella F, Archer DW, Akobundu IO, Chikoye D (2005). Seedling emergence model for tropic *ageratum* (*Ageratum conyzoides*). *Weed Science* 53: 55-61.
- European Commission, (2007). Adapting to Climate Change in Europe – Options for EU Action. Green Paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2007)354 final, SEC(2007) 849. European Commission, Brussels. Disponibile on line: http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0354en01.pdf.
- Ferrero A, Vidotto F (2006). Inerbimenti del mais e loro rapporti con alcuni parametri pedoclimatici. In *Caratteristiche agronomiche, economiche e ambientali dei diserbanti del mais: il caso di studio della terbutilazina*. Cooperativa Terremerse Soc. Coop, Bagnacavallo (RA), Italy, pp 3-13.
- Fuhrer J (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97: 1–20.
- Grundy AC (2003). Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research* 43: 1-11.
- Hayman PT, Sardras VO (2006). Climate change and weed management in Australian Farming Systems. In *Proceedings of: 15th Australian Weeds Conference. Managing weeds in a Changing Climate*, pp. 22-26. Disponibile on line: <http://www.caws.org.au/awc/2006/awc200610221.pdf>.
- Heap I (2013). The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.com/summary/home.aspx>. Accessed 5 Dec 2013
- Held IM (1993). Large-scale dynamics and global warming. *Bulletin of American Meteorological Society* 74: 228–241.

- Holt JS, Boose AB (2000). Potential for spread of *Abutilon theophrasti* in California. *Weed Science* 48: 43–52.
- Hoyle GL, Venn SE, Steadman KJ, Good RB, McAuliffe EJ, Williams ER, and Nicotra AB (2013). Soil warming increases plant species richness but decreases germination from the alpine soil seed bank. *Global Change Biology* 19: 1549–1561.
- Hyvönen T (2008). Impact of temperature and germination time on the success of a C₄ weed in a C₃ crop: *Amaranthus retroflexus* and spring barley. *Agricultural and Food Science* 20: 183–189.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Disponible presso http://www.climate2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Juroszek P, von Tiedemann A (2013). Plant pathogens, insect pests and weeds in a changing global climate: a review of approaches, challenges, research gaps, key studies and concepts. *Journal of Agricultural Science* 151:1 63–188.
- Jursík M, Kočárek M, Hamouzová K, Soukup J, Venclová V (2013). Effect of precipitation on the dissipation, efficacy and selectivity of three chloroacetamide herbicides in sunflower. *Plant, Soil and Environment* 59: 175-182.
- Kirkby et al. (2011). Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation. *Nature* 476: 429–433.
- Kriticos DJ, Watt MS, Potter KJB, Manning LK, Alexander NS, Tallent-Halsell N (2011). Managing invasive weeds under climate change: considering the current and potential future distribution of *Buddleja davidii*. *Weed Research* 51: 85–96.
- Lacis AA, Schmidt GA, Rind D, Ruedy RA (2010). Atmospheric CO₂: principal control knob governing earth's. *Science* 330: 356-359.
- Larsen SU, Bailly C, Come D, Corbineau F (2004). Use of hydrothermal time model to analyse interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. *Seed Science Research* 14: 35-50.
- Leguizamón ES, Fernández-Quintanilla C, Barroso J, González-Andujar JL (2005). Using thermal and hydrothermal time to model seedling emergence of *Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* in Spain. *Weed Research* 45: 149-156.
- Lichtenhahn M, Koller M, Dierauer H, Baumann D (2005). Weed control in organic vegetable cultivation. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, Switzerland, pp. 12. Disponible on line (09/12/2013): http://www.organiccentre.ca/Docs/FiBL_WeedCtrl_Vegetables.pdf.
- Liebman M, Davis AS (2000). Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40: 27-47.
- Lovelli S, Perniola M, Scalcione E, Troccoli A, Ziska LH (2012). Future climate change in the Mediterranean area: implications for water use and weed management. *Ital Journal of Agronomy* 7:e7 44-49.
- Maggiore T, Mariani L (2013). Clima europeo, cambiamento climatico e ideotipi di frumento, In atti di AISTEC 2013, 3-7.
- Mahajan G, Singh S, Chauhan BS (2012). Impact of climate change on weeds in the rice-wheat cropping system. *Current Science (Bangalore)* 102: 1254–1255.

- Mariani L (2012)a. Il fattore forzante della CO₂. In Pedrocchi E, Alimonti G. (a cura di) *Energia, Sviluppo, Ambiente*, Progetto Leonardo, Esculapio scuola, Bologna, pp 323-329.
- Mariani L (2012)b. Una determinante fonte per nutrire il mondo: CO₂, agricoltura e governo del ciclo del carbonio. *Acta Museorum Italicorum Agriculturae* 23-24: 12-22.
- Mariani L, Parisi S, (in corso di stampa). Extreme rainfalls in the Mediterranean area. In Diodato N, Bellocchi G, Romano N (Eds) *Advances in Natural and Technological Hazards*, Springer Book 309733.
- Mariani L, Parisi SG, Cola G, Failla O (2012). Climate change in Europe and effects on thermal resources for crops. *International Journal of Biometeorology* 56: 1123–1134.
- Marini L, Battisti A, Bona E, Federici G, Martini F, Pautasso M, Hulme PE (2012). Alien and native plant life-forms respond differently to human and climate pressures. *Global Ecology and Biogeography* 21: 534–544.
- Masin R, Loddo D, Benvenuti S, Stefan O, Zanin G (2012). Modeling weed emergence in Italian maize fields. *Weed Science* 60: 254–259.
- Masin R, Loddo D, Benvenuti S, Zuin MC, Macchia M, Zanin G (2010). Temperature and water potential as parameters for modeling weed emergence in Central-Northern Italy. *Weed Science* 58: 216–222.
- Masin R, Vasileadis VP, Loddo D, Otto S, Zanin G (2011) A single time survey method to predict the daily weed density for weed control decision-making. *Weed Science* 59: 270-275.
- Masin R, Zuin MC, Archer DW, Forcella F, Zanin G (2005). Weedturf: A predictive model to aid control of annual weeds in turf. *Weed Science* 53: 193-201.
- McDonald A, Riha S, DiTommaso A, DeGaetano A (2009). Climate change and the geography of weed damage: Analysis of U.S. maize systems suggests the potential for significant range transformations. *Agriculture Ecosystems & Environment* 130: 131–140.
- Miraglia M, Marvin HJP, Kleter GA, Battilan P, Brera C, Coni E, Cubadda F, Croci L, De Santis B, Dekkers S, Filippi R, Hutjes RWA, Noordman MY, Pisante M, Piva G, Prandini A, Toti L, van den Born GJ, Vespermann A (2009). Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology* 47: 1009–1021.
- Ogg AGJr, Dawson JH (1984). Time of emergence of eight weed species. *Weed Science* 32: 327-335.
- Olesen JE, Bindi M (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16: 239–262.
- Pannacci E, Mathiassen SK, Kudsk P (2010). The effect of adjuvants on the rainfastness and performance of tribenuron-methyl on broadleaf weeds. *Weed Biology and Management* 10: 126-131.
- Patterson DT (1995). Weeds in a changing climate. *Weed Science* 43: 685–701.
- Patterson DT, Westbrook JK, Joyce RJV, Lingren PD e Rogasik J (1999). Weeds, insects and diseases. *Climatic Change* 43: 711-727.
- Peñuelas J, Filella I, Comas P (2002). Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Glob Change Biology* 8: 531–544.
- Ren L, Wang S, Tian X, Han Z, Yan L, Qiu Z (2007). Non-smooth morphologies of typical plant leaf surfaces and their anti-adhesion affects. *Journal of Bionic Engineering* 4: 33-40.

- Rogers CA, Wayne PM, Macklin EA, Muilenberg ML, Wagner CJ, Epstein PR, Bazzaz FA (2006). Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO₂ on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environmental Health Perspectives* 114: 865–869.
- Satorre EH, Ghera CM, Pataro AM (1985). Prediction of *Sorghum halepense* (L.) Pers. rhizome sprout emergence in relation to air temperature. *Weed Research* 25: 103–109.
- Satrapová J, Hyvönen T, Venclová V, Soukup J (2013). Growth and reproductive characteristics of C₄ weeds under climatic conditions of the Czech Republic. *Plant, Soil and Environment* 59: 309–315.
- Scafetta N (2012). Testing an astronomically based decadal-scale empirical harmonic climate model versus the IPCC (2007) general circulation climate models. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 80: 124–137.
- Singh RP, Singh RK, Singh MK (2011). Impact of climate and carbon dioxide change on weeds and their management-a review. *Indian Journal of Weed Science* 43: 1–11.
- Stoller EW, Wax LM (1973). Periodicity of germination and emergence of some annual weeds. *Weed Science* 21: 574–580.
- Stratonovitch P, Storkey J, Semenov MA (2012). A process-based approach to modelling impacts of climate change on the damage niche of an agricultural weed. *Global Change Biology* 18: 2071–2080.
- Taylor KE, Stouffer RJ, Meehl GA (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93: 485–498.
- Taylor S, Kumar L, Reid N (2012). Impacts of climate change and land-use on the potential distribution of an invasive weed: a case study of *Lantana camara* in Australia. *Weed Research* 52: 391–401.
- Valerio M, Lovelli S, Perniola M, Di Tommaso T, Ziska LH (2013). The role of water availability on weed–crop interactions in processing tomato for southern Italy. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 63: 62–68.
- Valerio M, Tomecek MB, Lovelli S, Ziska LH (2011). Quantifying the effect of drought on carbon dioxide-induced changes in competition between a C₃ crop (tomato) and a C₄ weed (*Amaranthus retroflexus*). *Weed Research* 51: 591–600.
- Van der Weide RY, Bleeker PO, Achten VTJM, Lotz LAP, Fogelberg F, Melander B (2008). Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Research* 48: 215–224.
- Vidotto F, Fogliatto S, Ferrero A (2013). Interactions between summer weed communities and pedo-climatic characteristics in Italian maize fields. In *Proceedings of the 16th EWRS Symposium*, Samsun, Turkey, pp 123–123.
- Wainer K, Genty D, Blamart D, Bar-Matthews M, Quinif Y, Plagnes V (2013). Millennial climatic instability during penultimate glacial period recorded in a south-western France speleothem. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 376: 122–131.
- Williams AL, Wills KE, Janes JK, Vander Schoor JK, Newton PCD, Hovenden MJ (2007). Warming and free-air CO₂ enrichment alter demographics in four co-occurring grassland species. *New Phytologist* 176: 365–374.
- Wilson PD, Downey PO, Leishman M, Gallagher R, Hughes L, O'Donnell J (2009). Weeds in a warmer world: predicting the impact of climate change on Australia's alien plant species using MaxEnt. *Plant Protection Quarterly* 24: 84–87.

- Wortman SE, Davis AS, Schutte BJ, Lindquist L, Cardina J, Felix J, Sprague CL, Dille JA, Ramirez AHM, Reicks G, Clay SA (2012). Local conditions, not regional gradients, drive demographic variation of giant ragweed (*Ambrosia trifida*) and common sunflower (*Helianthus annuus*) across Northern U.S. maize belt. *Weed Science* 60: 440–450.
- Ziska LH (2000) The impact of elevated CO₂ on yield loss from a C₃ and C₄ weed in field-grown soybean. *Global Change Biology* 6: 899–905.
- Ziska LH (2003). Evaluation of the growth response of six invasive species to past, present and future carbon dioxide concentrations. *Journal of Experimental Botany* 54: 395–404.
- Ziska LH (2003). Evaluation of yield loss in field sorghum from a C₃ and C₄ weed with increasing CO₂. *Weed Science* 51: 914–918.
- Ziska LH (2013)a. Climate Change Impacts on Weeds. Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses, III2-III5, Disponibile on-line: <http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.1Weeds.pdf>
- Ziska LH (2013)b. Observed changes in soyabean growth and seed yield from *Abutilon theophrasti* competition as a function of carbon dioxide concentration. *Weed Research* 53: 140–145.
- Ziska LH, Beggs PJ (2012). Anthropogenic climate change and allergen exposure: The role of plant biology. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 129: 27–32.
- Ziska LH, Bunce J, Goins E (2004)a. Characterization of an urban-rural CO₂/temperature gradient and associated changes in initial plant productivity during secondary succession. *Oecologia* 139: 454–458.
- Ziska LH, Epstein PR, Schlesinger WH, (2009). Rising CO₂, Climate Change, and Public Health: Exploring the Links to Plant Biology. *Environmental Health Perspectives* 117: 155–158.
- Ziska LH, Faulkner S, Lydon J (2004)b. Changes in biomass and root:shoot ratio of field-grown Canada thistle (*Cirsium arvense*), a noxious, invasive weed, with elevated CO₂: implications for control with glyphosate. *Weed Science* 52: 584–588.
- Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG (2003). Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 111: 290–295.
- Ziska LH, Runion GB (2007). Future weed, pest and disease problems for plants. In Newton PCD, Carran A, Edwards GR, Niklaus PA (Eds) *Agroecosystems in a Changing Climate*. CRC Press, Boston, MA. pp. 262–279.
- Ziska LH, Teasdale JR (2000). Sustained growth and increased tolerance to glyphosate observed in a C₃ perennial weed, quackgrass (*Elytrigia repens*), grown at elevated carbon dioxide. *Australian Journal of Plant Physiology* 27: 159–66.

LA DIVERSITÀ NEI SISTEMI COLTURALI PER LA GESTIONE DELLE MALERBE RESISTENTI DI PIÙ DIFFICILE CONTROLLO

SATTIN M., COLLAVO A., PANOZZO S., SCARABEL L.

CNR - Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale, Unità di Legnaro (PD)

E-mail: maurizio.sattin@ibaf.cnr.it

Riassunto

I sistemi colturali coinvolti nella resistenza agli erbicidi sono spesso caratterizzati da una ridotta variabilità nel tempo e nello spazio. La situazione della resistenza è diventata più complessa in seguito all'evoluzione di resistenze multiple ed all'utilizzo di varietà tolleranti agli erbicidi inibitori dell'ALS. Le malerbe più coinvolte nella resistenza multipla sono *Lolium* spp. ed *Echinochloa* spp. La nuova normativa europea sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari porterà ad un'ulteriore riduzione dei principi attivi disponibili e pertanto ad una minore opportunità di ruotare erbicidi con diversi meccanismi d'azione. D'altra parte, l'implementazione della nuova direttiva europea porterà ad un maggiore impiego della difesa integrata, questo dovrebbe rendere i sistemi colturali più sostenibili e quindi abbassare il rischio di resistenza agli erbicidi. La gestione della resistenza richiede l'implementazione della difesa integrata (IWM), che recentemente è stata definita come un'iniziativa di tipo olistico che si basa su un approccio di sistema e sulla conoscenza e gestione dei processi agroecologici. Inoltre l'implementazione di IWM è un processo dinamico che integra le migliori soluzioni innovative in un arco temporale di parecchi anni.

Parole chiave

Resistenza agli erbicidi; Resistenza multipla; Direttiva 128/2009; Sistemi colturali; Varietà tolleranti agli erbicidi; Gestione integrata delle malerbe.

Summary

Diversity within cropping systems as the tool for managing the most difficult-to-control herbicide resistant weeds. The cropping systems involved in herbicide resistance often have a low variability in space and time. The resistance situation is complex due to the evolution of multiple resistance and the cultivation of varieties tolerant to ALS-inhibiting herbicides. The weeds most affected by multiple resistance are *Lolium* spp. and *Echinochloa* spp. Implementation of the new European legislation on the sustainable use of pesticides (called "Pesticide package") will lead to a further reduction in the available herbicides, hence reducing the opportunity to rotate herbicide modes of action. On the other hand, wide implementation of IPM (IWM for weeds) will increase the variability within cropping systems and therefore decrease the risk of resistance evolution. Resistance management requires the implementation of IPM, which has recently been defined as a holistic enterprise emphasising a systems approach and agroecological processes. It creates synergies by integrating complementary preventive and direct methods drawing from a diverse array of approaches that make use of landscape features, cultural and mechanical methods, plant genetics, biological control agents, biotechnologies, and information and decision support technologies, together with pesticide use as a last resort when addressing situations that cannot be managed with other tools. The implementation of IPM is a continuous and dynamic process which integrates innovative solutions.

Keywords

Herbicide Resistance, Multiple Resistance, Directive 128/2009, Cropping Systems, Herbicide Tolerant Varieties, Integrated Weed Management.

Introduzione

Gli erbicidi continuano ad essere i prodotti fitosanitari più utilizzati ed il principale mezzo di controllo della flora infestante. Ciò è legato alla loro alta efficacia ed alla natura ubiquitaria delle malerbe, che deriva dalle loro caratteristiche biologiche ed ecologiche. In particolare la loro plasticità, adattabilità e capacità di generare ingenti banche-semi ne fanno degli organismi in sostanza inestirpabili. Inoltre, la flora infestante è generalmente costituita da più specie, e per ciascuna di esse da individui a stadi fenologici diversi. Questo complica notevolmente la scelta del prodotto erbicida (o dei prodotti) e del momento di intervento in quanto il trattamento deve intercettare il maggior numero di piante ed essere altamente efficace verso tutta la vegetazione infestante. Poiché la pressione di selezione è proporzionale all'efficacia del prodotto di un erbicida, e quest'ultima è diversa per le varie malerbe e per i vari stadi di sviluppo, la pressione di selezione che viene esercitata varia significativamente da specie a specie. Questo ha un impatto importante sulla selezione/evoluzione di popolazioni resistenti ai diserbanti per le varie malerbe (Sattin e Zanin, 2006; Vencill et al., 2012). La selezione/evoluzione di popolazioni resistenti a questi prodotti fitosanitari è un fenomeno ormai conosciuto da tempo ed il costo connesso a questo problema è significativo (Orson, 1999; GIRE, 2013; Heap, 2013; Scarabel et al., 2013).

E' opportuno ricordare che per biotipo resistente si intende un gruppo di individui di una certa specie infestante che condividono molte caratteristiche fisiologiche, tra le quali la capacità di sopravvivere ad uno o più erbicidi, appartenenti ad un particolare gruppo, utilizzati ad una dose che normalmente li controllerebbe. Pertanto, per ogni specie ci possono essere più biotipi resistenti in relazione al tipo ed al numero di gruppi di erbicidi coinvolti, cioè in relazione allo spettro di resistenza. Naturalmente, per ciascun biotipo ci possono essere più popolazioni; ad esempio, nel mondo ne esistono migliaia aventi le stesse caratteristiche di resistenza agli erbicidi inibitori dell'enzima acetil-coenzima A carbossilasi - ACCasi (ad esempio gli arilossifenossipropionati - FOP).

La banca dati mondiale sulla resistenza agli erbicidi (Heap, 2013) riporta 407 biotipi che coinvolgono 221 specie infestanti, delle quali 130 dicotiledoni e 91 monocotiledoni, in oltre 600.000 appezzamenti. Esistono casi di resistenza a 21 dei 25 meccanismi d'azione (MdA, chiamati anche siti d'azione) degli erbicidi e sono coinvolti 148 erbicidi.

Si è riscontrato che le specie infestanti più predisposte ad evolvere popolazioni resistenti sono generalmente le specie: a fecondazione incrociata o dove essa è presente in proporzioni significative, che producono cospicue quantità di seme, dotate di ampia variabilità genetica ed in grado di creare infestazioni molto dense. Esistono tuttavia importanti eccezioni come i giavoni (*Echinochloa* spp.) e l'*Avena* spp. che sono specie prevalentemente autogame.

L'entrata in vigore del nuovo pacchetto di normative europee sui fitofarmaci, spesso denominato "*Pesticide package*", avrà importanti ricadute sul rischio di insorgenza e diffusione della resistenza. Dal punto di vista della resistenza, la stasi nell'introduzione sul mercato di erbicidi con nuovi MdA, la perdita significativa di principi attivi in commercio dovuta al processo di ri-registrazione imposto dalla direttiva europea 91/414 e dal regolamento 1107/2009, nonché l'uso sempre più diffuso di erbicidi estremamente efficaci e con un sito d'azione molto specifico (es. gli inibitori dell'ALS ed i graminicidi inibitori l'enzima acetil-coenzima A carbossilasi - ACCasi) ha aumentato il rischio di insorgenza e diffusione della resistenza. Tuttavia, oltre ad avere l'obiettivo di ridurre l'impatto sull'ambiente e sulla salute umana, la normativa europea rappresenterà un'opportunità per aumentare la diversità nei sistemi colturali, e cioè la loro sostenibilità.

Considerando che i principali concetti inerenti la resistenza e la situazione in Italia, anche in relazione all'entrata in vigore della nuova legislazione europea, sono stati oggetto di una presentazione al precedente Convegno S.I.R.F.I. (Sattin, 2011), questo contributo si concentrerà sull'evoluzione della situazione avvenuta negli ultimi due anni e sui casi di resistenza di più difficile gestione.

Diversità nei sistemi colturali e resistenza agli erbicidi

La ridotta variabilità nello spazio e nel tempo dei sistemi colturali crea le condizioni per una veloce selezione di popolazioni resistenti. Il caso estremo è la monosuccessione dove il controllo delle infestanti è completamente affidato agli erbicidi e non vi è rotazione dei MdA. Un esempio emblematico è la monosuccessione di riso con l'uso continuato di inibitori dell'ALS. Questa situazione è ulteriormente peggiorata con l'esteso utilizzo delle varietà IMI-tolleranti.

Una sequenza di colture ben diversificata, con l'alternanza sia di colture autunno-vernine con quelle primaverili-estive (e nel caso di aziende orticole l'alternanza di colture da foglia con colture da radice), sia dei MdA degli erbicidi previene la selezione e la dominanza di alte infestazioni delle specie più adatte ad una certa coltura (mimetismo) e favorisce l'implementazione della difesa integrata. In questo contesto, preservare l'efficacia degli erbicidi disponibili è fondamentale. Per alcune colture dove la gestione della resistenza è un problema cogente, l'industria sta ri-registrando prodotti con MdA poco pronti a selezionare popolazioni resistenti, come il pretilachlor che è un inibitore del PSII utilizzato in riso, e che erano stati accantonati in quanto il loro potenziale di mercato non permetteva un ritorno dell'investimento (C. Campagna, comunicazione personale). L'utilizzo di questi prodotti permetterà anche di controllare le popolazioni resistenti ad altri MdA.

La situazione della resistenza agli erbicidi in Italia

La situazione della resistenza in Italia è ancora in veloce evoluzione. Finora sono stati identificati 31 biotipi resistenti che coinvolgono 21 specie infestanti, prevalentemente monocotiledoni (15) e fra queste il genere *Poa*, e 16 regioni (in particolare Piemonte, Lombardia, Puglia, Toscana e Lazio). Una dettagliata descrizione della situazione aggiornata al 2010 è stata pubblicata da Sattin (2011) mentre quella attuale è fornita dal sito web del GIRE (GIRE, 2013). Va ricordato che il monitoraggio del GIRE non è basato su un campionamento casuale (*random survey*) ma su segnalazioni di insufficiente efficacia di qualche erbicida (*complaint monitoring*) non spiegabile da altre cause. Il trend degli ultimi anni mostra un leggero incremento del numero di specie coinvolte, mentre è in costante aumento il numero di biotipi resistenti. Questo indica che alcune specie/generi (*Lolium* spp., *Echinochloa* spp. e *Amarantus* spp.) sono particolarmente prone a sviluppare resistenza a vari erbicidi con MdA diversi. Quando queste resistenze sono presenti negli stessi individui, si è in presenza di resistenza multipla.

Dalle informazioni disponibili, risulta abbastanza raro che un determinato biotipo sia resistente ad un solo erbicida; cioè si trovano frequentemente biotipi resistenti selezionati da un certo erbicida e resistenti anche ad altri erbicidi aventi lo stesso MdA dell'erbicida selezionatore (Tabacchi et al., 2004; Collavo et al., 2011), in questi casi si è in presenza di “resistenza incrociata”. Normalmente, il meccanismo di resistenza coinvolto è uno. Si può inoltre verificare il caso della “resistenza multipla”, dove le popolazioni sono in grado di resistere contemporaneamente ad erbicidi aventi diverso MdA (es. popolazioni di papavero resistenti ad inibitori dell'ALS ed al 2,4-D; Sattin et al., 2006). Questi sono i biotipi più difficili da controllare e talvolta costringono a radicali modificazioni dei sistemi colturali.

I sistemi colturali interessati dalla resistenza sono spesso caratterizzati da una ridotta variabilità nel tempo e nello spazio, con un ricorso frequente alla monosuccessione e monocoltura. Il GIRE stima che più del 30% della superficie coltivata a riso sia interessata dalla resistenza; i casi più diffusi riguardano la resistenza agli inibitori dell'ALS in *Schoenoplectus (Scirpus) mucronatus*, *Cyperus difformis*, *Alisma plantago-aquatica* e più recentemente *Oryza sativa* var. *sylvatica* (riso crodo) in varietà Clearfield® tolleranti all'imazamox (Figura 1) (Busconi et al., 2012; Scarabel et al., 2012).

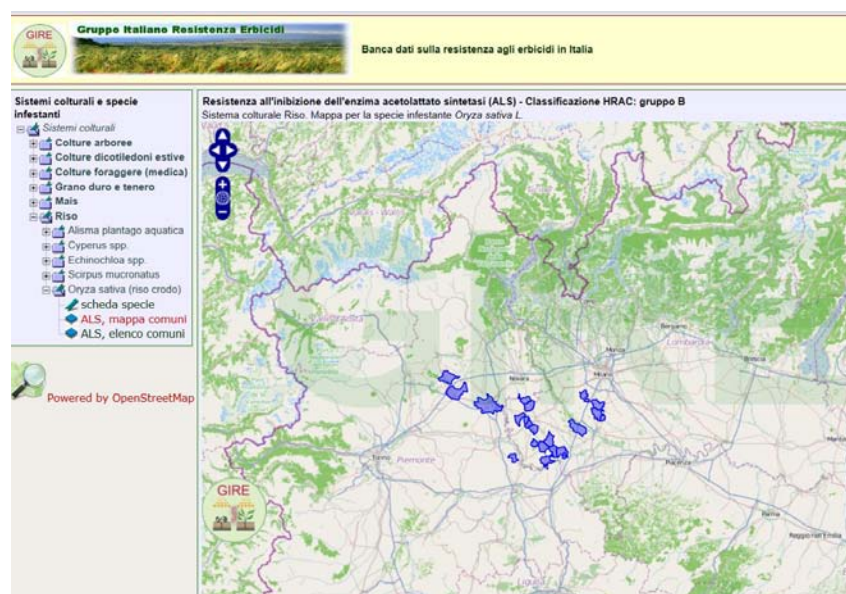


Figura 1. Comuni (21) con almeno una popolazione di riso crodo resistente agli inibitori dell'ALS. Tratto dal sito GIRE (Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi) il 5 dicembre 2013.

Negli ultimi anni si è registrato un rapido incremento delle popolazioni di giavone (*Echinochloa crus-galli*) resistenti agli inibitori dell'ALS utilizzati in riso e mais. Purtroppo, recentemente sono state anche trovate alcune popolazioni resistenti agli inibitori dell'ACCasi ed altre con resistenza ad ambedue questi gruppi di erbicidi in riso (Figura 2). In queste situazioni, la sostenibilità di questa coltura appare seriamente minacciata.

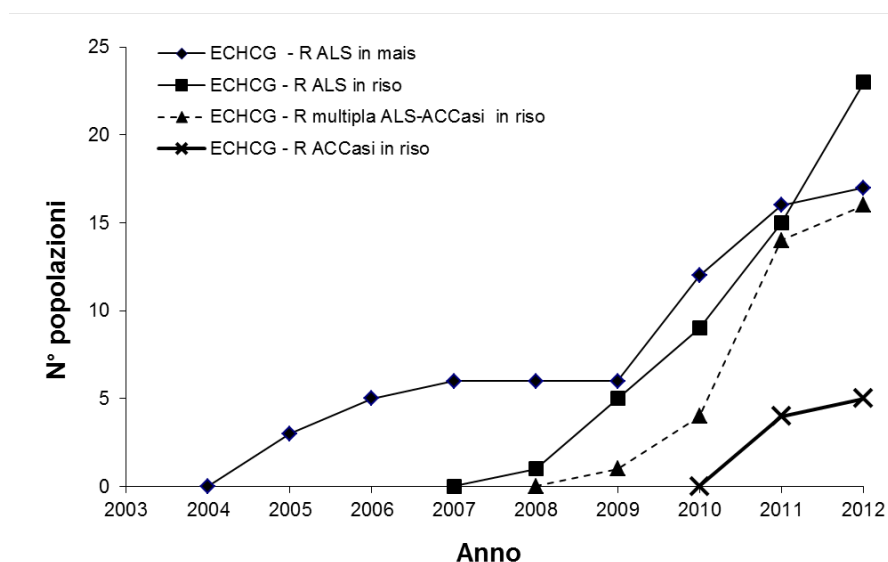


Figura 2. Evoluzione del numero cumulo di popolazioni di *Echinochloa crus-galli* resistenti agli inibitori dell'ALS in riso ed in mais e con resistenza multipla ad inibitori dell'ALS e dell'ACCasi in riso.

Il secondo sistema colturale maggiormente interessato dalla resistenza continua ad essere il grano duro (GIRE, 2013), dove i casi più diffusi sono *Lolium* spp. (principalmente nel nord del Lazio, nella parte centro occidentale e meridionale della Toscana, nella parte occidentale dell'Umbria ed alcuni casi anche in Puglia) e *Avena sterilis* (principalmente nelle province di Foggia e Bari, con alcuni casi anche nella Sicilia centro-occidentale) resistenti agli inibitori dell'ACCasi (Sattin et al., 2001; Collavo et al., 2011; Scarabel et al., 2011).

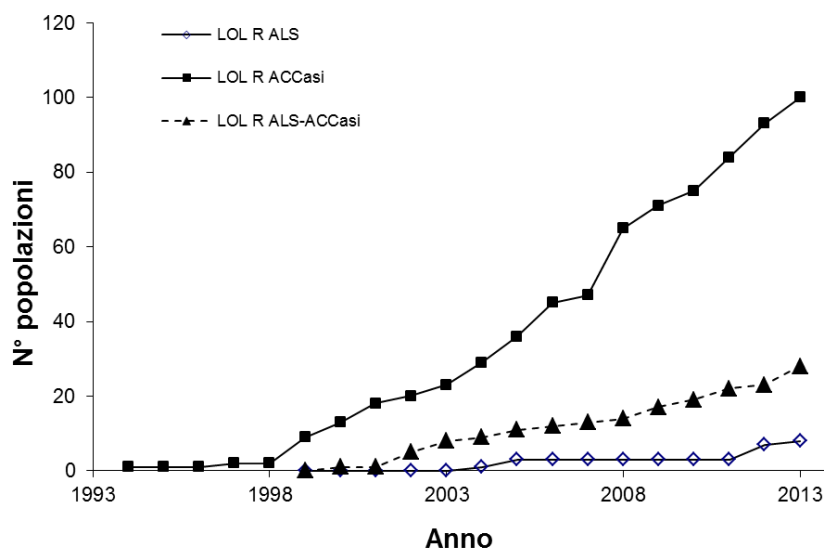


Figura 3. Evoluzione del numero cumulato di popolazioni di *Lolium* spp. raccolte in frumento e resistenti agli inibitori dell'ACCasi, oppure agli inibitori dell'ALS oppure ad entrambi i gruppi di erbicidi e in frumento e con resistenza multipla ad inibitori dell'ALS e dell'ACCasi.

Vi sono molte popolazioni sia di *Lolium* spp. (Figura 3) sia di *A. sterilis* che hanno una resistenza multipla sia agli inibitori dell'ACCasi che alle sulfoniluree graminicide. La maggior parte di questi casi è stata identificata negli ultimi anni a seguito del largo uso di erbicidi sulfonilureici introdotti qualche anno fa (Campagna et al., 2006; Collavo et al., 2013). La dinamica dell'evoluzione appare chiara: intenso uso di inibitori dell'ACCasi a partire dagli anni 80 e conseguente selezione di molti biotipi resistenti a questo gruppo di erbicidi (Sattin et al., 2001; Campagna et al., 2006), quindi introduzione delle sulfoniluree graminicide e selezione di popolazioni resistenti multiple ad entrambi le famiglie a partire da popolazioni già resistenti agli ACCasi (Collavo et al., 2013). Questo è il motivo per il quale vi sono poche popolazioni resistenti alle sole sulfoniluree. Alcune decine di popolazioni di papavero (*Papaver rhoeas*) sparse su tutta la penisola sono state confermate resistenti agli inibitori dell'ALS, con alcune popolazioni che sono anche resistenti al 2,4-D (Scarabel et al., 2004; Sattin et al., 2006).

Negli ultimi anni è comparsa pure in Italia la resistenza al glifosate: coinvolge popolazioni di *Lolium rigidum* presenti in vigneti e nocciuleti della provincia di Cuneo ed uliveti nella parte centro-meridionale della Puglia ed una popolazione in Calabria (Collavo e Sattin, 2012; GIRE, 2013) dove il glifosate è stato il principale, e talvolta unico, mezzo di controllo delle malerbe. Molto recentemente sono state confermate le prime popolazioni resistenti al glifosate provenienti da colture annuali in Europa (frumento in rotazione con soia, girasole e mais). Alcune di queste popolazioni hanno una resistenza multipla sia al glifosate che agli inibitori dell'ACCasi. In questo sistema, il glifosate è stato usato molto intensamente (2-3 volte l'anno), talvolta per usi fuori-etichetta e sottodosando il prodotto. Viste le caratteristiche di questo erbicida e la varietà delle situazioni in cui è utilizzato, è particolarmente importante mettere in atto tutte le misure per preservarne l'efficacia.

Da quanto appena descritto emerge che la resistenza multipla si sta espandendo in modo esponenziale ed è, almeno in Italia, la conseguenza dell'uso intenso e sequenziale di gruppi di erbicidi diversi. In altre parole, la resistenza multipla non è dovuta ad un unico meccanismo, per esempio ad un complesso enzimatico (ad es. P450) in grado di detossificare molti gruppi di erbicidi (Powles e Yu, 2010), ma alla selezione sequenziale e quindi all'accumulo di meccanismi diversi (Xia Ge et al., 2012). E' inoltre interessante riportare quello che Mortensen et al. (2012) hanno sottolineato a proposito della resistenza *target-site*: quando si è in presenza di una popolazione dove la maggior parte degli individui è resistente ad un certo erbicida, la probabilità di selezionare una popolazione resistente multipla ad un altro erbicida non deriva dal prodotto delle frequenze con cui le due mutazioni si ritrovano in natura (in genere molto basse, ad es. $10^{-7} \times 10^{-5} = 10^{-12}$), ma è molto più alta e vicina alla singola frequenza della mutazione che conferisce resistenza al "nuovo" erbicida (cioè 10^{-7} o 10^{-5}).

La maggior parte dei casi di resistenza multipla riportati sopra sono molto difficili, o addirittura impossibili, da controllare con i soli mezzi chimici.

Oltre alla resistenza multipla, un altro argomento di attualità è l'impatto delle varietà tolleranti agli inibitori dell'ALS che sono già disponibili per alcune colture. Queste varietà consentono di avere un controllo selettivo di malerbe botanicamente molto vicine alla coltura, o in ogni caso malerbe di difficile controllo, preservando la coltura in atto. Queste varietà sono state ottenute tramite tecnologia Clearfield® che conferisce tolleranza all'imazamox in riso, oppure Express Sun® che conferisce tolleranza al tribenuron metile in girasole.

Nelle risaie, le varietà Clearfield® permettono di controllare efficacemente il riso crodo la cui presenza nelle risaie è aumentata negli ultimi 20 anni, molto probabilmente a causa dell'utilizzo di lotti di semi con presenza di riso crodo e all'impiego di varietà di riso *semi-dwarf* che hanno risolto

il problema dell'allettamento ma hanno penalizzato la competitività della coltura nei confronti delle infestanti ed in particolar modo del riso crodo (Scarabel et al., 2012). L'impiego di questa nuova tecnologia necessita però di un'accurata gestione per evitare che il carattere "resistenza all'imazamox" sia trasferito dal riso coltivato al riso crodo attraverso l'impollinazione incrociata (introgressione). Le linee guida fornite da BASF al momento della stipula del contratto di coltivazione e dal GIRE dovrebbero essere ben seguite. In particolare, bisognerebbe ruotare varietà Clearfield® con riso tradizionale almeno ogni 2 anni e rimuovere, anche manualmente, tutte le piante di riso crodo che fossero sopravvissute ai 2 trattamenti consigliati con imazamox. È importante ricordare che questa tecnologia è stata introdotta quando nelle risaie l'impiego degli erbicidi inibitori dell'ALS era già ampiamente diffuso per il controllo di altre infestanti problematiche come i giavoni, per cui la pressione di selezione esercitata da questo gruppo di erbicidi è ulteriormente aumentata.

I primi casi di riso crodo altamente resistenti all'imazamox sono stati registrati dopo pochissimi anni dall'inizio della coltivazione varietà Clearfield®. Le popolazioni resistenti si sono estese alle principali province risicole del Piemonte e della Lombardia (Busconi et al. 2012; Scarabel et al. 2012). Ciò significa che dalla prima segnalazione nel 2010, l'evoluzione della resistenza di riso crodo all'imazamox è stata piuttosto rapida e questo mette in discussione la sostenibilità di questa nuova tecnologia.

Per preservare l'opportunità di controllare riso crodo ed altre infestanti della risaia nelle varietà Clearfield® è pertanto imperativo seguire scrupolosamente le linee guida ed impiegare tutte le misure agronomiche disponibili (rotazione tra varietà Clearfield® - varietà convenzionali o altre colture; utilizzare erbicidi con diversi MdA e diverse tecniche di coltivazione, eliminare riso crodo sfuggito al trattamento, eseguire fertilizzazione appropriata per un rapido sviluppo della coltura, usare semi certificati).

Per quanto riguarda il girasole, Bartolini (2013) ha recentemente puntualizzato che la gestione delle varietà ALS-tolleranti dovrebbe prevedere ampie rotazioni colturali e un attento monitoraggio degli appezzamenti.

Gestione dei casi di resistenza più difficili

L'evoluzione della resistenza agli erbicidi in funzione dei sistemi colturali e delle pratiche agronomiche appare chiara: ogniqualvolta la diversità dei disturbi nel tempo e nello spazio è fortemente ridotta, e specialmente quando accoppiata a trattamenti erbicidi fatti in condizioni non ottimali (variabili importanti sono la dose, l'epoca di trattamento, la qualità e la manutenzione delle attrezzature), il rischio di resistenza aumenta significativamente. Se poi la pressione di infestazione

di specie particolarmente prona alla resistenza è elevata, la sostenibilità dei sistemi colturali diventa molto labile.

La situazione della resistenza è diventata complessa. Quando una popolazione ha acquisito la resistenza ad un certo erbicida, o più spesso ad un gruppo di erbicidi, è importante agire tempestivamente e abbassare significativamente la pressione di selezione nell'insieme del sistema colturale. Se questo non è fatto, la popolazione resistente diventa spesso ingestibile e può costringere al completo e repentino cambiamento di un certo sistema colturale. Ad esempio, non è infrequente assistere alla successiva selezione di popolazioni con resistenza multipla ad erbicidi con diverso MoA, come ad esempio agli inibitori dell'ACCasi e dell'ALS. In relazione alla coltivazione di varietà tolleranti agli erbicidi, è fondamentale applicare integralmente le linee guida disponibili e specialmente per quanto riguarda la loro frequenza di coltivazione e la totale distruzione delle malerbe botanicamente vicine alla specie coltivata e che non fossero state controllate dai trattamenti erbicidi.

La gestione di queste situazioni dovrebbe essere fatta utilizzando la difesa integrata, o IPM (per le malerbe, IWM), che recentemente è stata definita come un'iniziativa (*enterprise*) di tipo olistico che si basa su un approccio di sistema e sulla conoscenza e gestione dei processi agroecologici (Barzman et al., 2014). IWM non è una ricetta, e può assumere varie forme attraverso adattamenti nel tempo e nello spazio in relazione: allo schema spaziale di coltivazione (forma, dimensione e distribuzione degli appezzamenti), dalle caratteristiche del territorio, dalle caratteristiche agronomiche, dalla pressione d'infestazione, dagli investimenti in ricerca e sviluppo, dal livello di conoscenza e dalla disponibilità di supporto tecnico, nonché dalla situazione economica (Norsworthy et al., 2012). Inoltre l'implementazione di IWM presuppone un percorso passo-dopo-passo che integri le migliori soluzioni innovative in un arco temporale di parecchi anni.

Il livello d'implementazione dell'IWM, soprattutto per le colture erbacee di pieno campo, rimane limitato. Le ragioni sono molteplici, e molti esperti sono concordi nell'indicare alcune "criticità di sistema": a) i maggiori costi e rischi, b) lo scarso livello culturale medio, c) il mancato coinvolgimento di tutti gli *stakeholders* nell'organizzare le priorità ed il trasferimento di conoscenza dalla ricerca agli utilizzatori, d) la scarsa propensione della ricerca ad affrontare l'IWM, e l'IPM più in generale, attraverso un approccio multi ed interdisciplinare a livello di sistema colturale.

Appare necessario affrontare il problema della resistenza in termini di conoscenza, organizzazione ed innovazione: prima di tutto bisogna conoscere gli strumenti a disposizione ed il bersaglio della loro azione, bisogna cioè avere ben chiaro che ogni erbicida è caratterizzato da un certo meccanismo e spettro d'azione e che la sua azione è mediata dalle caratteristiche biologiche delle varie specie infestanti. Gli erbicidi sono strumenti complessi e preziosi e possono avere impatti

negativi sull'ambiente e la salute umana, per cui vanno usati responsabilmente per preservarne l'efficacia e limitarne gli effetti negativi. La resistenza è un problema complesso, esistono dei principi generali per la sua gestione ma le soluzioni migliori vanno ricercate caso per caso.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i membri del GIRE per il loro contributo allo studio e alla gestione della resistenza degli erbicidi in Italia.

Bibliografia

- Bartolini D (2013). Diserbo girasole, i pro e i contro delle varietà tolleranti. *Terra e Vita* 4: 68-71.
- Barzman M, Bàrberi P, Birch N, Boonekamp P, Dachbrodt-Saaydeh S, Graf B, Hommel B, Jensen JE, Kiss J, Kudsk P, Messéan A, Moonen AC, Ratnadass A, Ricci P, Sarah JL, Sattin M (2014). On the implementation of the eight European Union principles of Integrated Pest Management. *Pest Management Science*, in stampa.
- Busconi M, Rossi D, Lorenzoni C, Baldi G, Fogher C (2012). Spread of herbicide-resistant weedy rice (red rice, *Oryza sativa* L.) after 5 years of Clearfield rice cultivation in Italy. *Plant Biology* 14: 751–759.
- Campagna C, Collavo A, Innocenti M, Sattin M (2006). Evoluzione e gestione della resistenza ai graminicidi in *Lolium* spp. *Atti Giornate Fitopatologiche 2006*, Rimini, 1: 329-336.
- Collavo A, Panozzo S, Lucchesi G, Scarabel L, Sattin M (2011). Characterisation and management of *Phalaris paradoxa* resistant to ACCase-inhibitors. *Crop Protection* 30: 293-299.
- Collavo A, Sattin M (2012). Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum* selected in Italian perennial crops: bioevaluation, management and molecular bases of target-site resistance. *Weed Research* 52: 16-24.
- Collavo A, Streck H, Beffa R, Sattin M, 2013. Management of an ACCase inhibitor resistant *Lolium rigidum* population based on the use of ALS inhibitors: weed population evolution observed over a seven year field-scale investigation. *Pest Management Science* 69: 200-208.
- GIRE (2013). Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi. www.resistenzaerbicidi.it.
- Heap I (2011). The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.com.
- Mortensen DA, Egan JF, Maxwell BD, Ryan MR, Smith RG (2012). Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *Bioscience* 62: 75–84.
- Norsworthy JK, Ward SM, Shaw DR, Llewellyn RS, Nichols RL, Webster TM, Bradley KW, Frisvold G, Powles SB, Burgos NR, Witt WW, Barrett M (2012). Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. *Weed Science Special Issue*: 31–62.
- Orson J (1999). Cost to farmers of herbicide resistance. *Weed Technology* 13: 607-611.
- Powles SB, Yu Qin (2010). Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review Plant Biology* 61:317–347.
- Sattin M, (2011). Gestione della resistenza nel contesto dell'IWM e della nuova normativa europea. *Atti del XVIII Convegno SIRFI*, Bologna, 26 maggio 2011, 103-115.

- Sattin M, Zanin G, (2006). La resistenza agli erbicidi: un processo evolutivo in ambiente agricolo. *Agronomica* 5: 20-25.
- Sattin M, Gasparetto MA, Campagna C (2001). Situation and management of *Avena sterilis* ssp *ludoviciana* and *Phalaris paradoxa* resistant to ACCase inhibitors in Italy. Proceedings *British Crop Protection Conference - Weeds*, Brighton, 12-15 novembre 2001, 755-562.
- Scarabel L, Carraro N, Sattin M, Varotto S (2004). Molecular basis and genetic characterisation of evolved resistance to ALS-inhibitors in *Papaver rhoeas*. *Plant Science* 166: 703-709.
- Scarabel L, Panozzo S, Varotto S, Sattin M (2011). Allelic variation of the ACCase gene and response to ACCase-inhibiting herbicides in pinoxaden target-site resistant *Lolium* spp. *Pest Management Science*, 67: 932-941.
- Scarabel L, Cenghialta C, Manuello D, Sattin M, (2012). Monitoring and management of imidazolinone-resistant red rice (*Oryza sativa* L., var. *sylvatica*) in Clearfield® Italian paddy rice. *Agronomy*, 2: 371-383.
- Scarabel L, Cenghialta C, Panozzo S, Manuello D, Sattin M, (2013). Resistance evolution and sustainability of the rice cropping system: the Italian case study. Proceedings of the Conference “*Global herbicide resistance challenge*”, Perth (Australia), 18-22 febbraio 2013, pp. 105.
- Tabacchi M, Scarabel L, Sattin M (2004). Herbicide resistance in Italian rice crops: a late-developing but fast-evolving story. In: Proceedings of the Conference “*Challenges and opportunities for sustainable rice-based production systems*” (Eds A. Ferrero e F. Vidotto), Torino 13-15 Settembre 2004, Mercurio eds., pp. 227-238.
- Vencill WK, Nichols RL, Webster TM, Soteres JK, Mallory-Smith C, Burgos NR, Johnson WG, McClelland MR (2012). Herbicide Resistance: Toward an Understanding of Resistance Development and the Impact of Herbicide-Resistant Crops. *Weed Science* Special Issue: 2-30.
- Xia Ge, André d'Avignon D, Ackerman JJH, Collavo A, Sattin M, Ostrander EL, Hall EL, Sammons RD, Preston C (2012). Vacuolar glyphosate-sequestration correlates with glyphosate resistance in ryegrass (*Lolium* spp.) from Australia, South America and Europe: a ³¹P-NMR investigation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60: 1243-1250.

EVOLUZIONE DELLA DISPONIBILITÀ DI ERBICIDI

GEMINIANI E., CAMPAGNA G.

*Centro di Fitofarmacia – DIPSA – Università degli Studi di Bologna.
E-mail: emanuele.geminiani@unibo.it*

Riassunto

Il processo di revisione dei prodotti fitosanitari previsto dalla Direttiva 91/414/CE dell'Unione Europea ha decretato la revoca di diverse sostanze attive e la perdita di alcuni meccanismi d'azione. E' presumibile che l'introduzione del Regolamento 1107/09 comporterà un'ulteriore riduzione nella gamma di erbicidi utilizzabili, con conseguenti difficoltà nella gestione delle infestanti su alcune colture.

Negli ultimi anni si rileva un rallentamento nell'introduzione di nuove sostanze attive e, soprattutto, l'assenza di meccanismi d'azione innovativi. I prodotti di recente introduzione, dotati di profilo ecotossicologico più favorevole, sono caratterizzati da meccanismi d'azione molto specifici (es. inibitori dell'ALS e dell'ACCasi). La loro ampia diffusione sulle principali colture e la specificità del sito d'azione determinano però un alto rischio di selezione di infestanti resistenti.

Questi fenomeni di resistenza agli erbicidi, sempre più frequenti, condizioneranno le strategie di gestione delle infestanti nel prossimo futuro. Occorre perciò razionalizzare l'impiego dei mezzi chimici (avvicendamento temporale e spaziale di erbicidi con diversi meccanismi d'azione e loro impiego in miscele), integrandoli con tutti gli altri metodi di controllo delle infestanti (ricorso alle rotazioni colturali, utilizzo di mezzi meccanici, ecc.).

Parole chiave

Erbicidi; Meccanismo d'azione; Resistenza agli erbicidi; Gestione delle infestanti.

Summary

The review process of plant protection products required by Directive 91/414/EC of the European Union has led to the withdrawal of several active substances and the loss of some mechanisms of action. The introduction of Regulation 1107/ 09 will probably led to a further reduction in the range of the available herbicides, with consequent difficulties in the management of weeds on some crops.

In recent years there has been a slowdown in the introduction of new active substances and, especially, the absence of new mechanisms of action. The newly introduced products, that have a more favourable ecotoxicological profile, are characterized by very specific mechanisms of action (ALS inhibitors, ACCase inhibitors, etc.). Their widespread on the main crops and the specificity of the site of action, however, lead to a high risk of selection of resistant weeds.

Such phenomena of herbicide resistance, that are becoming more frequent, will shape the approaches of weed management in the near future. It is therefore necessary to rationalize the use of chemical means (rotation of herbicides with different mechanisms of action and their use in mixtures), and integrate them with all other methods of weed control (crop rotations, mechanical means, etc.).

Keywords

Herbicides, Mechanisms of action, Herbicide resistance, Weed management.

Introduzione degli erbicidi

L'introduzione degli erbicidi di sintesi pone le sue basi nelle prime osservazioni effettuate in particolare durante la fine del XIX° secolo. Dopo la scoperta casuale della blanda azione di alcune sostanze chimiche (acido solforico, clorato di sodio, solfato di ferro, petrolio, nafta), nel 1886 il francese Bonnet dimostrò che una soluzione di solfato di rame poteva danneggiare la senape selvatica, ma non i cereali vernini.

Nonostante ciò, tale pratica non si diffuse mai e, per un impiego degli erbicidi su larga scala occorre attendere il dopoguerra, con l'introduzione dei primi prodotti di sintesi elaborati per uso bellico, come gli ormonici 2,4-D e MCPA (attualmente rivalutati per la gestione di infestanti di sostituzione o resistenti).

Nel corso degli anni '60 fecero la loro comparsa numerosi principi attivi appartenenti ad importanti famiglie chimiche, come le nitroaniline, le ammidi, i carbammati, i derivati dell'urea, impiegate fino ai giorni nostri. Vennero immessi sul mercato i primi erbicidi ad azione totale, come i dipiridilici paraquat e diquat, i quali segnarono una prima svolta nella gestione dei letti di semina e delle malerbe nelle colture arboree. Un altro rilevante gruppo chimico di erbicidi, che ha segnato un'epoca, è quello delle triazine, tra cui l'atrazina, diserbante per eccellenza del mais. Giunta in Italia nel corso degli anni sessanta, periodo in cui si è assistito al vertiginoso aumento delle produzioni agricole, l'atrazina riscosse notevoli successi determinando una svolta nell'impiego, talvolta eccessivo, degli erbicidi nella nuova dimensione dell'agricoltura estensiva. Per contro fecero la loro comparsa le prime malerbe resistenti alle triazine e i primi effetti di inquinamento ambientale, tanto da decretarne dapprima la limitazione dell'impiego e poi la sua abolizione.

Verso la fine degli anni '70 venne sintetizzato glyphosate, destinato a rivoluzionare la pratica della lotta alle malerbe nei letti di semina, negli incolti, nel diserbo di frutteti e vigneti, ecc.

Dagli anni '80 la scoperta dei graminicidi specifici ha determinato un cambiamento nella lotta alle graminacee, in particolare nei cereali vernini, ma anche nelle colture sarchiate. Successivamente altre grandi e attuali famiglie chimiche come quella delle sulfoniluree, hanno contribuito a rendere il diserbo più specifico e professionale, non senza problematiche legate soprattutto all'insorgenza di resistenze.

La scoperta di questi erbicidi (Piccardi, 2000), aventi un migliore profilo eco-tossicologico, è stata la conseguenza di una maggiore sensibilizzazione dell'opinione pubblica nei confronti della salvaguardia dell'ambiente. La sintesi di sostanze più rispettose, la messa a punto degli isomeri attivi, di nuove formulazioni e coadiuvanti per l'ottimizzazione delle strategie di lotta (Swanton e Weise, 1991), ha accompagnato la promozione delle buone pratiche agricole e il corretto impiego dei composti chimici (Swanton e Murphy, 1996). Da questi presupposti si è arrivati alla

rivalutazione di tutte le tecniche alternative per la lotta integrata, necessaria anche per scongiurare la comparsa dei fenomeni di resistenza (Sattin, 2006).

Un altro aspetto che sembrava dovesse rivoluzionare le strategie di contenimento delle malerbe è stata l'introduzione delle varietà geneticamente modificate, resistenti agli erbicidi totali come glyphosate (Knezevic e Cassman, 2003). Mentre in diverse parti del mondo la coltivazione di organismi geneticamente modificati rappresenta ormai una realtà consolidata, in Europa il ricorso a questa tecnologia è osteggiato da un'opinione pubblica per lo più contraria.

Più lenta e difficile risulta la ricerca e la messa a punto di tecniche biologiche sulla base dei meccanismi che regolano i processi di germinazione, nonché l'impiego di sostanze naturali ad azione erbicida.

L'evoluzione della pratica del diserbo chimico

La gestione delle malerbe richiede un elevato grado di professionalità, quale conseguenza dei cambiamenti della flora infestante (Zaniz, 2000), dell'evoluzione delle tecniche di coltivazione e dei nuovi riferimenti normativi.

L'impulso che ha avuto la tecnica del diserbo negli ultimi decenni del secolo scorso è stato rilevante sia per l'innovazione apportata con le nuove molecole, che per l'evoluzione delle conoscenze biologiche, applicate in un contesto di massimizzazione del livello produttivo.

A partire dal dopoguerra sono stati realizzati notevoli progressi nella comprensione dei meccanismi d'azione degli erbicidi, sulla base delle conoscenze acquisite in biochimica e fisiologia vegetale. Con la scoperta degli erbicidi di nuova generazione, come gli inibitori dell'acetolattato sintetasi (ALS), si è aperto un nuovo aspetto della chimica, caratterizzato da elevato grado di controllo e flessibilità d'impiego, accompagnato da una maggior sicurezza per l'uomo e l'ambiente.

La registrazione di nuovi principi attivi e il miglioramento delle tecnologie applicative (Balsari e Tamagnone, 2000) hanno portato ad una progressiva riduzione delle dosi e dell'impatto ambientale. Le nuove formulazioni hanno contribuito a conseguire questo importante risultato, rendendo disponibili prodotti più efficaci e compatibili con le esigenze operative ed ambientali (Ramsey et al., 2005). Gli erbicidi continuano a detenere il primo posto in ordine di importanza per quanto riguarda il settore dei fitofarmaci, confermando l'utilità del diserbo delle colture in tutti i Paesi, compresi quelli in via di sviluppo (Covarelli, 2007). L'applicazione massiva degli erbicidi, in particolare nelle colture erbacee estensive (cereali vernini, mais, soia, riso, ecc.) e nelle colture arboree da frutto, è ormai affermata da oltre un mezzo secolo.

Per contro, l'eccessivo impiego di molecole persistenti, come quelle di prima generazione (triazine, nitroanilidi, cloaroacetammidi), ha talvolta causato fenomeni di inquinamento. La crescente

sensibilità nei confronti della salvaguardia dell'ambiente giustifica il monitoraggio dei possibili fattori di inquinamento causati da un'agricoltura intensiva, con lo scopo di ricercare strategie sostenibili. L'agricoltura è sempre più orientata, oltre che alla produzione di alimenti e mangimi, anche sui settori energetico e industriale. Occorre pertanto conciliare il giusto rapporto con l'ambiente tramite uno sforzo innovativo che non passi attraverso la rinuncia al diserbo chimico, bensì alla sua razionalizzazione mediante l'utilizzo degli erbicidi meno persistenti, calati in un'ottica di strategia integrata (Elmore, 1996).

Evoluzione della gestione integrata delle malerbe

Dagli anni '80 è stato definito il concetto della gestione integrata delle infestanti (IWM, Integrated Weed Management) che prevede il coordinamento tra tecnica agronomica ed i differenti mezzi di controllo delle malerbe (Shaw, 1982; Campagna et al., 2011). Se dagli anni '70 i mezzi chimici hanno ricoperto un ruolo centrale nella lotta alle infestanti, gli altri mezzi non sono mai stati abbandonati; occorre però valorizzarli soprattutto alla luce delle nuove conoscenze, per trovare un'ottimale combinazione che permetta di razionalizzare la gestione delle malerbe con una riduzione degli input chimici (Paolini, 2000).

Bisogna considerare che attualmente il trend di introduzione di nuovi formulati erbicidi si è notevolmente ridotto, mentre è aumentata l'attenzione verso la razionalizzazione dell'impiego dei mezzi chimici e l'integrazione con altri metodi di lotta alle infestanti (Rapparini et al., 2009).

I fenomeni di resistenza agli erbicidi, sempre più frequenti, condizionano le strategie di gestione delle infestanti. Allo scopo di contenere la selezione di malerbe di sostituzione e limitare il rischio di insorgenza di popolazioni resistenti, occorre adottare tutte le pratiche di coltivazione che consentano di ridurre la pressione selettiva sulla vegetazione infestante (Sattin et al., 2008).

Determinante risulta l'applicazione delle pratiche agronomiche (Masin et al., 2007), che debbono prendere in giusta considerazione un'appropriata rotazione e l'alternanza di lavorazioni diversificate ed effettuate a profondità variabili; occorre poi sfruttare la tecnica della falsa semina preventiva, con l'intento di favorire l'emergenza della maggior parte delle infestanti (es. *Avena sterilis* nei cereali autunno-vernini, graminacee estive su sorgo, ecc.) che possono essere devitalizzate prima della semina della coltura. La riduzione degli stock di semi nel terreno può essere conseguita attraverso la limitazione della disseminazione, ma anche favorendo l'emergenza delle malerbe nel periodo intercolturale (mediante lavorazioni superficiali e la pratica della falsa semina). Ciò permette di ridurre il livello d'infestazione con la coltura in atto, limitando la competizione durante le prime fasi di sviluppo.

Per quanto riguarda l'impiego degli erbicidi, sono da evitare gli utilizzi ripetuti degli stessi principi attivi o comunque di prodotti caratterizzati da analogo meccanismo d'azione. Occorre impostare tecniche di diserbo che prevedano miscele o alternanza di erbicidi a differente meccanismo d'azione (Campagna et al., 2013), utilizzati in diverse epoche di intervento (es. erbicidi residuali in pre-emergenza alternati, in differenti annate, ad erbicidi ad azione fogliare in post-emergenza). Le applicazioni, oltre ad essere effettuate con volumi di acqua non troppo ridotti e attrezzature idonee e ben tarate, devono essere eseguite nei momenti più favorevoli e con malerbe allo stadio di sviluppo più sensibile, allo scopo di ottimizzare l'efficacia erbicida. Per questo sono da evitare interventi ritardati con infestanti eccessivamente sviluppate e in condizioni ambientali sfavorevoli.

Determinante è l'individuazione di eventuali focolai di malerbe non sufficientemente controllate. Per evitare la diffusione dei semi di infestanti potenzialmente resistenti occorre prestare particolare attenzione alla pulizia delle macchine operatrici e raccogliere separatamente gli appezzamenti con presenza dei focolai.

La revisione europea degli erbicidi

Con l'emanazione della Direttiva 91/414/CE l'Unione Europea ha adottato un quadro legislativo comune in materia di prodotti fitosanitari, con lo scopo di armonizzare le normative nazionali relative ad autorizzazione, immissione in commercio e impiego degli stessi (Ferrero et al., 2010; Zaghi e Caffarelli, 2007). Questi nuovi criteri uniformi di valutazione sono stati introdotti per accertare che i prodotti fitosanitari commercializzati nell'ambito dell'Unione Europea non presentassero rischi inaccettabili per la salute umana (utilizzatori, consumatori, popolazione potenzialmente esposta) e per l'ambiente (con particolare riferimento alle acque sotterranee e agli effetti sugli animali).

Le valutazioni hanno riguardato sia le sostanze attive sia i formulati commerciali, interessando, oltre ai prodotti di nuova introduzione, anche quelli già presenti sul mercato, per i quali è stata stabilita una procedura di revisione. Le società detentrici della registrazione dovevano di fatto presentare una documentazione relativa alla corretta valutazione della sostanza attiva, per sostenerne l'iscrizione in un elenco (Allegato 1) di prodotti accettabili sotto il punto di vista ambientale e della salute umana.

Tale processo di revisione ha decretato la revoca di diverse sostanze attive, con consistente riduzione del numero di erbicidi a disposizione (soprattutto per alcuni gruppi largamente diffusi in passato) e la perdita di meccanismi d'azione. La scomparsa di sostanze attive ha comportato in alcuni casi notevoli difficoltà nella gestione delle infestanti su determinate colture (Rapparini et al., 2008).

La valutazione dei prodotti a fini autorizzativi diverrà ancora più selettiva con il Regolamento (CE) N. 1107/09 che sostituisce la Direttiva 91/414/CEE. Il nuovo regolamento considera non solo le sostanze attive, ma anche gli antidoti, i coformulanti e i coadiuvanti, introducendo sostanziali modifiche nelle procedure autorizzative attualmente in vigore. Nel Regolamento (CE) N. 1107/09 i vincoli a tutela della salute umana e della salvaguardia ambientale risultano ulteriormente restrittivi, poiché viene adottata una più severa metodologia di valutazione delle sostanze basata su criteri di esclusione (“cut off”) che considerano alcune caratteristiche di tossicità per l’uomo, ecotossicità e destino ambientale. Le sostanze attive attualmente autorizzate (iscritte nell’Allegato 1), ma caratterizzate da profilo tossicologico ed ambientale non pienamente favorevole, entreranno in una lista di prodotti “candidati alla sostituzione”. Per questi ultimi gli Stati membri dovranno effettuare valutazioni comparative con sostanze e metodi di lotta alternativi. L’autorizzazione per queste sostanze potrà essere rinnovata solo in assenza di strumenti di controllo (chimici e non) altrettanto efficaci ed economicamente sostenibili, o nel caso in cui la sostanza risulti strategica per la prevenzione delle resistenze.

E’ presumibile che l’introduzione di questo nuovo Regolamento comporterà un’ulteriore contrazione della gamma di sostanze attive utilizzabili, con la possibile esclusione di molecole erbicide di notevole importanza, soprattutto per colture minori. Occorre considerare che il tasso di introduzione di nuovi erbicidi si è notevolmente ridotto, a causa dei notevoli costi registrativi e delle caratteristiche richieste. Non si rileva, inoltre, l’introduzione di nuovi meccanismi d’azione, anche per un maggiore interesse della ricerca verso altre modalità di controllo delle infestanti (colture geneticamente modificate, non accettate in Europa, ma largamente diffuse a livello mondiale).

Per quanto riguarda la gestione delle infestanti, la riduzione del numero di erbicidi disponibili potrà comportare un aggravamento dei fenomeni di resistenza. Rimarranno probabilmente disponibili soprattutto i prodotti di recente introduzione, dotati di profilo ecotossicologico più favorevole, ma caratterizzati da meccanismi d’azione specifici (es. inibitori dell’ALS e dell’ACCase); rischiano invece di scomparire prodotti di collaudato impiego, caratterizzati da meccanismi d’azione diversificati e meno specifici.

Erbicidi attualmente disponibili in Italia

Di seguito si riporta l’attuale disponibilità di erbicidi, secondo la classificazione proposta dal HRAC (Herbicide Resistance Action Committee, Comitato d’Azione sulla Resistenza agli Erbicidi) ed adottata dal GIRE (Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi), che raggruppa le sostanze attive in relazione al sito biochimico a livello del quale esse agiscono. Questo criterio di

classificazione, basato sul meccanismo d'azione, è importante a fini pratici, allo scopo di facilitare la scelta degli erbicidi per una corretta gestione delle resistenze.

All'interno di questi gruppi gli erbicidi sono stati suddivisi in famiglie chimiche, in base alla struttura della molecola e alla presenza di gruppi funzionali caratteristici. Per le principali sostanze attive si riportano sinteticamente alcune considerazioni riguardanti il loro impiego nelle attuali strategie di diserbo, in funzione delle prioritarie problematiche di prevenzione e gestione delle resistenze.

Gruppo A – Inibitori dell'enzima acetil-CoA carbossilasi (Tabella 1)

Questo gruppo comprende le famiglie degli arilossifenossipropionati, dei cicloesenoni e quella più recente delle fenilpirazoline, accomunate da un analogo meccanismo d'azione. Si tratta di graminicidi specifici ad azione sistemica, assorbiti quasi esclusivamente per via fogliare. Agiscono per inibizione dell'enzima acetil-CoA carbossilasi, con conseguente arresto della biosintesi degli acidi grassi preposti alla formazione delle membrane cellulari e della cuticola. Questi erbicidi sono ampiamente diffusi, grazie alla loro elevata efficacia e specificità d'azione. Sono utilizzati selettivamente su molte colture a foglia larga (soia, barbabietola da zucchero, girasole, orticole, ecc.), per le quali rappresentano gli unici graminicidi di post-emergenza autorizzati (Campagna et al., 2007). Sono altresì impiegati per il controllo delle graminacee di frumento, orzo (grazie anche all'aggiunta di antidoti) e riso; su queste colture gli erbicidi inibitori dell'enzima acetil-CoA carbossilasi rappresentano i soli graminicidi di post-emergenza assieme agli inibitori di ALS.

L'ampia diffusione ed il sito d'azione specifico determinano un alto rischio di selezione di popolazioni di graminacee resistenti. I fenomeni di resistenza accertati riguardano le seguenti specie (fonte GIRE):

- *Lolium* spp. (anche resistenze multiple agli ALS inibitori), *Avena sterilis*, *Phalaris paradoxa* su frumento;
- *Lolium multiflorum* su medica;
- *Echinochloa crus-galli* (anche resistenze multiple agli ALS inibitori) su riso;
- *Sorghum halepense* da rizoma su colture dicotiledoni estive.

Per alcune delle sostanze attive appartenenti a questo gruppo sono stati isolati gli isomeri attivi (es. fenoxaprop-P-ethyl, quizalofop-P-ethyl, fluazifop-P-buthyl), eliminando nei processi di sintesi le componenti prive di efficacia biologica (con riduzione dell'apporto complessivo di erbicida).

Tra i cicloesenoni ("dim") si segnala la recente introduzione di tepraloxymid, autorizzato su alcune colture dicotiledoni e caratterizzato da una buona efficacia su infestanti graminacee meno sensibili ai restanti graminicidi (es. *Digitaria sanguinalis*).

La principale novità riguarda però l'introduzione di pinoxaden, unico rappresentante della famiglia delle fenilpirazoline ("den"), impiegabile nel diserbo dell'orzo e del frumento (anche in miscela con il collaudato clodinafop-propargyl) grazie all'aggiunta di uno specifico antidoto.

Tabella 1. Gruppo A, inibitori dell'enzima acetil-CoA carbossilasi (ACCasi).

Famiglia chimica: Arilossifenossipropionati ("fop") <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare (< radicale) • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: graminacee annuali e perenni 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Clodinafop-propargyl	Topik	1996	Frumento
Fenoxaprop-P-ethyl	Whip, Proper	1996	Frumento, orzo
Cyhalofop-butyl	Clincher	1998	Riso
Fluazifop-P-butyl	Fusilade	1989	Colture dicotiledoni
Propaquizafop	Agil	1997	Colture dicotiledoni
Quizalofop-P-ethyl	Targa	1992	Colture dicotiledoni
Sostanze attive attualmente non commercializzate: diclofop-methyl, haloxyfop-R Sostanze attive revocate: fenoxaprop-ethyl, fluazifop-buthyl, quizalofop-ethyl, haloxyfop-etossiethyl			
Famiglia chimica: Cicloesenoni ("dim") <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: graminacee annuali e perenni 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Tralkoxydim	Grasp	1995	Frumento, orzo
Profoxydim	Aura	2001	Riso
Clethodim	Select	1996	Colture dicotiledoni
Cycloxydim	Stratos	1991	Colture dicotiledoni
Tepraloxymid	Aramo	2010	Colture dicotiledoni
Sostanze attive revocate: sethoxydim, alloxydim			
Famiglia chimica: Fenipirazoline ("den") <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: graminacee annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Pinoxaden	Axial	2007	Frumento, orzo

Gruppo B - Inibitori dell'enzima acetolattato sintetasi (Tabella 2 e Tabella 3)

Di questo gruppo fanno parte le sulfoniluree, ma anche altre famiglie accomunate dallo stesso meccanismo d'azione (triazolopirimidine, imidazolinoni, pirimidiniltiobenzoati ed i più recenti triazoloni). Si tratta di prodotti sistemici, assorbiti per via fogliare ma anche radicale; agiscono per inibizione dell'enzima acetolattato sintetasi (ALS), preposto alla sintesi di alcuni aminoacidi (valina, leucina, isoleucina), con conseguente arresto della sintesi proteica, della divisione cellulare e conseguentemente della crescita delle piante. Il primo esponente di questo gruppo di erbicidi è stato chlorsulfuron, introdotto nel 1986 per il diserbo precoce del frumento, il quale non ha riscosso molto successo a causa dell'elevata persistenza e dei possibili danni alle colture poste in successione al cereale. Da allora si è registrata l'introduzione di numerose sostanze attive appartenenti alla stessa famiglia, che hanno trovato ampia diffusione grazie alle favorevoli caratteristiche ecotossicologiche ed all'elevata attività biologica, che permette di impiegarle a dosaggi estremamente ridotti.

Gli erbicidi appartenenti a questo gruppo presentano caratteristiche diverse per quanto riguarda la selettività e lo spettro d'azione verso le malerbe; ciò ne rende possibile l'impiego su numerose specie coltivate. Per quanto riguarda i cereali autunno-vernini (frumento, orzo) si rileva una buona disponibilità di dicotiledonici solfonilureici (come il più diffuso tribenuron-methyl), oltre alla triazolopirimidina florasulam.

Più recentemente sono state introdotte anche molecole a più ampio spettro d'azione, attive sulle più comuni infestanti graminacee del frumento, come le sulfoniluree iodosulfuron-methyl-sodium e mesosulfuron-methyl e la triazolopirimidina pyroxsulam. Attualmente questi prodotti rappresentano, assieme agli inibitori dell'enzima acetil-CoA carbossilasi, i soli graminicidi di post-emergenza impiegabili sulla coltura.

Altri dicotiledonici trovano impiego su mais (prosulfuron, ecc.), soia (tifensulfuron-methyl e l'imidazolinone imazamox) e barbabietola (triflursulfuron-methyl).

Diffuso, sulla coltura del mais, è l'utilizzo delle sulfoniluree rimsulfuron, nicosulfuron e foramsulfuron per il controllo delle infestanti graminacee in post-emergenza (Geminiani et al., 2013); occorre sottolineare come questi erbicidi rappresentino, ad oggi, l'unico mezzo di lotta al *Sorghum halepense* da rizoma nella coltura del mais (con un unico meccanismo d'azione coinvolto).

Tra le sulfoniluree attualmente disponibili, flazasulfuron si caratterizza per l'elevata persistenza e l'azione fogliare ma soprattutto residuale (Rapparini et al., 2010); trova applicazione su vite, olivo, agrumi e per usi extra-agricoli, e risulta utile per il controllo preventivo di numerose infestanti, comprese alcune specie di sostituzione, meno sensibili a glyphosate (*Malva sylvestris*, *Conyza canadensis*, *Parietaria officinalis*, ecc.).

Le sulfoniluree rappresentano, assieme ad altre sostanze attive aventi analogo meccanismo d'azione (pinoxulam, bispyribac-sodium e, su varietà tolleranti, anche imazamox), la maggior parte degli

erbicidi oggi impiegati nelle risaie, sia per il controllo delle graminacee che delle dicotiledoni, nonché di ciperacee, alismataceae, ecc.

Recentemente si segnala, infine, l'introduzione di due erbicidi appartenenti ad una nuova famiglia chimica, quella dei triazoloni: propoxicarbazone-sodium, impiegato su frumento (formulato con iodosulfuron-methyl e amidosulfuron) e thiencazone-methyl, proposto in miscela con isoxaflutole (e l'antidoto cyprosulfamide) per il diserbo preventivo del mais, dove rappresenta una soluzione alternativa alle collaudate miscele comprendenti terbuthylazine.

Tabella 2. Gruppo B, inibitori dell'enzima acetolattato sintetasi (ALS).

Famiglia chimica: Sulfoniluree			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare e radicale (più o meno importante) • Epoca di impiego: pre-emergenza (chlorsulfuron, flazasulfuron), post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni, graminacee, monocotiledoni non graminacee 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Chlorsulfuron	Glean	1986	Frumento
Tribenuron-methyl	Granstar	1992	Frumento, orzo
Metsulfuron-methyl	Ally, Gaio	1992	Frumento, orzo, riso
Triasulfuron	Logran	1992	Frumento, orzo
Amidosulfuron	Legion	1997	Frumento, orzo
Iodosulfuron-methyl-sodium	Hussar, Atlantis	2002	Frumento
Mesosulfuron-methyl		2005	
Thifensulfuron-methyl	Harmony	1991	Mais, frumento, soia
Rimsulfuron	Titus	1992	Mais, patata, pomodoro
Nicosulfuron	Ghibli	1995	Mais
Foramsulfuron	Equip	2004	Mais
Triflusaluron-methyl	Safari	1996	Barbabietola
Prosulfuron	Peak	1997	Mais
Tritosulfuron	Tooler	2011	Frumento, orzo, mais
Flazasulfuron	Chikara	2006	Vite, olivo, agrumi, extra-agricolo
Bensulfuron-methyl	Londax	1988	Riso
Azimsulfuron	Gulliver	1997	Riso
Ethoxysulfuron	Sunrice	1998	Riso
Imazosulfuron	Kocis	2004	Riso
Halosulfuron-methyl	Permit	2007	Riso
Orthosulfamuron	Kelion	2008	Riso
Sostanze attive attualmente non commercializzate: oxasulfuron			
Sostanze attive revocate: cinosulfuron, primisulfuron-methyl			

Tabella 3. Gruppo B, inibitori dell'enzima acetolattato sintetasi (ALS).

Famiglia chimica: Triazolopirimidine <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare (< radicale) • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni, graminacee, monocotiledoni non graminacee (penoxsulam) 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Florasulam	Azimut	2001	Frumento, orzo, mais
Penoxsulam	Viper	2005	Riso
Pyroxsulam	Floramix	2010	Frumento
Sostanze attive attualmente non commercializzate: metosulam			
Famiglia chimica: Triazolinoni <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare e radicale • Epoca di impiego: pre-emergenza (thiencarbazone-methyl), post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Propoxycarbazone-sodium	Caliban Top	2011	Frumento
Thiencarbazone-ethyl	Adengo	2011	Mais
Famiglia chimica: Imidazolinoni <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare e radicale • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Imazamox	Altorex	2001	Soia, medica, leguminose
Sostanze attive revocate: imazamethabenz, imazapyr, imazethapyr			
Famiglia chimica: Pirimidinil tio benzoati <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare (< radicale) • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni, graminacee, monocotiledoni non graminacee 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Bispyribac-sodium	Nominee	2004	Riso

La diffusione di questi erbicidi è stata accompagnata, negli ultimi anni, anche dalla selezione di varietà in grado di tollerare erbicidi comunemente non selettivi per la coltura (Ferrero et al., 2010).

Il primo esempio è rappresentato dalle varietà di riso tolleranti l'imidazolinone imazamox, utile soprattutto per la possibilità di controllare efficacemente il riso crodo, infestante di difficile contenimento a causa dell'elevata affinità botanica con la coltura. Questa tecnologia si è diffusa anche sul girasole, con l'introduzione di varietà tolleranti lo stesso imazamox e tribenuron-methyl, utili per il controllo del girasole selvatico (Campagna et al., 2013). Occorre comunque osservare che, analogamente a quanto succede per le colture geneticamente modificate, se non correttamente gestite anche per queste varietà sussistono rischi di trasferimento dei caratteri di tolleranza alle infestanti geneticamente affini alla specie coltivata.

L'ampia diffusione raggiunta dagli erbicidi ALS inibitori in molti sistemi colturali e la specificità del sito d'azione determinano un'elevata pressione selettiva sulle infestanti, con un alto rischio di comparsa di popolazioni resistenti (con fenomeni di resistenza incrociata a tutti gli inibitori di ALS ed anche resistenze multiple). Ciò rende spesso necessario il loro uso congiunto con altri erbicidi aventi diverso meccanismo d'azione (es. idrossibenzonitrili, prodotti ormonosimili).

I fenomeni di resistenza accertati riguardano attualmente le seguenti specie (fonte GIRE):

- *Papaver rhoeas*, *Sinapis arvensis*: resistenza alle sulfoniluree dicotiledoniche su frumento;
- *Lolium* spp., *Avena sterilis*: resistenza alle sulfoniluree ad ampio spettro d'azione su frumento (alcune popolazioni di *Lolium* spp. risultano avere resistenza multipla agli inibitori di ALS e di ACCasi);
- *Amaranthus retroflexus*: resistenza incrociata agli ALS inibitori impiegati su soia (imazamox, thifensulfuron-methyl);
- *Alisma plantago-aquatica*, *Cyperus difformis*, *Schoenoplectus mucronatus*: resistenza incrociata a tutti gli ALS (sulfoniluree e triazolopirimidine);
- *Echinochloa crus-galli*: popolazioni con resistenza incrociata agli ALS inibitori sia su riso (anche resistenze multiple) che su mais (nei terreni torbosi, dove si interviene solo in post-emergenza);
- riso crodo: resistenza ad imazamox riscontrate su varietà di riso tollerante l'imidazolinone.

Gruppo C1 – Inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II (Tabella 4)

Tra questi erbicidi, la famiglia delle triazine è quella che ha visto nel tempo la maggiore riduzione, con esclusione di sostanze attive di notevole importanza soprattutto per il diserbo del mais, come atrazine e simazine. Negli anni '70 e '80 l'uso ripetuto ed esteso di atrazine aveva portato a modifiche nella flora infestante del mais (con prevalenza di graminacee) e comparsa di biotipi resistenti di alcune specie (*Amaranthus* spp., *Chenopodium* spp., *Solanum* spp.). A seguito del bando dell'atrazina e dei cambiamenti nella tecnica del diserbo questo problema ha perso d'importanza.

Attualmente l'unico rappresentante delle triazine è terbutylazine, che dagli anni '90 ha sostituito atrazina grazie ad un profilo ambientale più favorevole, alla minore solubilità e di conseguenza alla minore tendenza alla percolazione. Nonostante le limitazioni d'impiego legate all'elevata persistenza e ad aspetti ambientali (il prodotto può essere commercializzato solo in miscele già formulate con altri erbicidi, con una dose massima consentita pari ad 850 g/ha di sostanza attiva per anno), il suo utilizzo rende ancora semplice ed economico il diserbo preventivo del mais, grazie all'ampio spettro d'azione, all'elevata selettività e alla costante attività erbicida.

Dello stesso gruppo fanno parte i triazinoni metamitron e metribuzin, che mantengono la loro validità come erbicidi ad azione residuale e fogliare. Il primo rappresenta tuttora la base del diserbo della barbabietola da zucchero, mentre il secondo è impiegato principalmente su colture orticole (patata, pomodoro, carota, leguminose, ecc.), generalmente in miscela con altri erbicidi ad azione complementare, ma anche in pre-ricaccio della medica e su soia. Su quest'ultima coltura, in particolare, si presta ad essere utilmente impiegato nelle strategie antiresistenza, per il controllo preventivo degli amaranti resistenti agli ALS inibitori (Geminiani et al., 2013).

Allo stesso gruppo appartengono altre sostanze attive, quali lenacil (uracili), chloridazon (piridazinoni), phenmedipham e desmedipham (fenilcarbammati) tuttora fondamentali come erbicidi di pre-emergenza o post-emergenza della barbabietola da zucchero e di altre colture chenopodiacee (spinacio).

Tabella 4. Gruppo C1, inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II.

Famiglia chimica: Triazine <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento radicale (< fogliare) • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza precoce • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Terbuthylazine	Click	1972	Mais, sorgo
Sostanze attive revocate: atrazine, cyanazine, prometryne, simazine, terbumeton, terbutryne			
Famiglia chimica: Triazinoni <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento radicale (< fogliare) • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Metribuzin	Sencor	1972	Orticole, soia, medica, frumento
Metamitron	Goltix	1978	Barbabietola
Sostanze attive revocate: hexazinone			
Famiglia chimica: Uracili <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento radicale (< fogliare) • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Lenacil	Venzar	1971	Barbabietola, spinacio
Sostanze attive revocate: bromacil			
Famiglia chimica: Piridazinoni <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento radicale (< fogliare) • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Chloridazon	Pyramin	1965	Barbabietola
Famiglia chimica: Fenilcarbammati <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Phenmedipham	Betanal	1976	Barbabietola, spinacio
Desmedipham		1987	Barbabietola

Gruppo C2 – Inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II (Tabella 5)

La famiglia chimica delle uree ha visto nel tempo una consistente riduzione delle sostanze attive impiegabili. Ad oggi risultano disponibili solo chlorotoluron e linuron, mentre per isoproturon e diuron, pur iscritti nell'Allegato 1, non esistono attualmente formulati in commercio.

Si tratta di prodotti assorbiti prevalentemente per via radicale, anche se alcuni di essi (es. linuron) presentano anche una significativa azione fogliare; per questo motivo sono in genere impiegati in pre-emergenza o post-emergenza precoce delle colture.

Chlorotoluron ha assunto, negli ultimi anni, un'importanza crescente nelle strategie di prevenzione e gestione dei fenomeni di resistenza su frumento. La sua attività verso *Lolium* spp. può essere sfruttata per contenere la diffusione di popolazioni dell'infestante resistenti ai graminicidi di post-emergenza.

L'applicazione dei nuovi criteri previsti dal Reg. 1107/09 potrà determinare la revoca anche di linuron che, nonostante gli aspetti tossicologici penalizzanti, rappresenta ancora un prodotto tecnicamente importante per diverse colture orticole e minori, quali ad esempio alcune ombrellifere. Il suo impiego si giustifica anche su soia, nelle aree più infestate da *Acalypha virginica*, di difficile contenimento con i prodotti di post-emergenza.

Tra gli erbicidi caratterizzati da meccanismo d'azione analogo rientra propanil (famiglia delle ammidi), sostanza attiva revocata della quale sono annualmente richieste deroghe per uso indispensabile su riso. Nonostante le limitazioni dei dosaggi d'impiego, l'applicazione di propanil è infatti utile, in miscela con erbicidi a diverso meccanismo d'azione (prodotti ad azione ormonosimile), per il contenimento di ciperacee ed alismatacee resistenti ai prodotti ALS inibitori.

Tabella 5. Gruppo C2, inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II.

Famiglia chimica: Uree			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: sistemica, assorbimento radicale (< fogliare)• Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza precoce• Attività erbicida: graminacee e dicotiledoni annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Chlorotoluron	Dicuran	1971	Frumento, orzo
Linuron	Afalon	1962	Orticole, industriali
Sostanze attive attualmente non commercializzate: isoproturon, diuron			
Sostanze attive revocate: methabenzthiazuron, metobromuron, neburon, ecc.			
Famiglia chimica: Ammidi			
Sostanze attive revocate (con deroga per situazioni di emergenza fitosanitaria): propanil			

Gruppo C3 – Inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II (Tabella 6)

Di questo gruppo fanno parte gli idrossibenzonitrili, erbicidi di post-emergenza caratterizzati da azione di contatto nei confronti di infestanti dicotiledoni annuali. Bromoxynil e ioxynil sono utilizzati principalmente nel diserbo dei cereali autunno-vernini, per integrare lo spettro d'azione di altre sostanze attive e per la gestione dei fenomeni di resistenza che coinvolgono *Papaver rhoeas* e *Sinapis arvensis*. L'impiego di ioxynil è di fondamentale importanza, inoltre, per il diserbo della cipolla, data la scarsità di dicotiledonici di post-emergenza disponibili per questa coltura.

Anche bentazone, appartenente alla famiglia chimica delle benzotiadiazine, è un erbicida di post-emergenza caratterizzato da azione di contatto verso numerose dicotiledoni, in particolare nei primi stadi di sviluppo. E' impiegato prevalentemente nel diserbo di post-emergenza della soia, dove è utile nella gestione degli amaranti resistenti agli ALS inibitori.

Pyridate, infine, appartiene alla famiglia delle fenilpiridazine; anch'esso presenta un'azione di contatto nei confronti di specie dicotiledoni e trova un limitato impiego su alcune colture orticole.

Tabella 6. Gruppo C3, inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II.

Famiglia chimica: Idrossibenzonitrili			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare• Epoca di impiego: post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Ioxynil	Cipotril	1970	Frumento, cipolla
Bromoxynil	Buctril	1988	Frumento, orzo, mais, sorgo
Famiglia chimica: Benzotiadiazine			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare• Epoca di impiego: post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Bentazone	Basagran	1973	Leguminose, mais, sorgo, frumento
Famiglia chimica: Fenilpiridazine			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare• Epoca di impiego: post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Pyridate	Lentagran	1985	Orticole, mais

Gruppo D – Deviazione del trasporto elettronico a livello del foto sistema I (Tabella 7)

Di questo gruppo fanno parte i dipiridilici, rappresentati, dopo la revoca di paraquat, dal solo diquat. Si tratta di un erbicida non selettivo, caratterizzato da rapida azione di contatto fogliare sulle infestanti dicotiledoni e su molte graminacee. Nonostante i problemi legati all'elevata tossicità, diquat è ancora utile per un rapido disseccamento delle infestanti delle coltivazioni arboree, in particolare negli impianti più giovani e per le specie più sensibili ai prodotti sistemici (glyphosate). Negli impianti arborei diquat è inoltre impiegato con funzione spollonante, mentre su patata è utile per il disseccamento della parte aerea della coltura nella fase di pre-raccolta.

Tabella 7. Gruppo D, inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema I (deviazione del flusso elettronico).

Famiglia chimica: Dipiridilici			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare• Epoca di impiego: post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Diquat dibromide	Reglone	1964	Letti di semina, colture arboree
Sostanze attive revocate: paraquat			

Gruppo E – Inibitori dell'enzima protoporfirinogeno ossidasi (PPO) (Tabella 8)

Di questo gruppo fanno parte i difenileteri bifenox e oxyfluorfen, caratterizzati da azione di contatto soprattutto sulle infestanti a foglia larga. Non è più disponibile, invece, fomesafen, impiegato fino ad alcuni anni fa soprattutto nel diserbo di post-emergenza della soia.

Bifenox trova un limitato impiego su frumento, in miscela con altri erbicidi, per il controllo di alcune dicotiledoni (es. *Veronica* spp.) e nelle strategie antiresistenza.

Più diffuso è l'impiego di oxyfluorfen, autorizzato su alcune orticole (es. cipolla), su girasole e colture arboree. Si presta ad essere impiegato, a dosi ridotte, in associazione a glyphosate, per integrarne l'azione verso alcune specie dicotiledoni meno sensibili; a dosi più elevate svolge invece una buona azione antigerminello.

Tra gli ossadiazolinoni è invece disponibile il solo oxadiazon, erbicida residuale autorizzato su alcune orticole, soia e colture arboree; il suo impiego principale è però legato al controllo preventivo di *Heteranthera* spp. nelle risaie.

Carfentrazone ethyl (triazolinoni) e pyraflufen-ethyl (fenilpirazoli), introdotti inizialmente per il diserbo di post-emergenza del frumento, sono stati recentemente riproposti come spollonati nelle colture arboree e come disseccanti per la patata nella fase di pre-raccolta, in alternativa o in associazione a diquat.

Tabella 8. Gruppo E, inibitori dell'enzima protoporfirinogeno ossidasi (PPO).

Famiglia chimica: Difenileteri			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare (< attraverso ipocotile e radici) • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Oxyfluorfen	Goal	1980	Orticole, girasole, colture arboree
Bifenox	Fox	1992	Frumento, orzo
Sostanze attive revocate: acifluorfen, fomesafen			
Famiglia chimica: Ossadiazolinoni			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: contatto, assorbimento attraverso ipocotile e radici • Epoca di impiego: pre-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Oxadiazon	Ronstar	1973	Orticole, industriali, riso, arboree
Famiglia chimica: Triazolinoni			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Carfentrazone-ethyl	Spotlight	2001	Colture arboree, patata
Famiglia chimica: Fenilpirazoli			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Pyraflufen-ethyl	Evolution	2003	Colture arboree, patata

Gruppo F1 – Inibitori della biosintesi dei carotenoidi a livello della fitoenedesaturasi (PDS)**(Tabella 9)**

Questo gruppo comprende, attualmente, il solo diflufenican, appartenente alla famiglia chimica delle nicotinilidi. Questo erbicida trova un certo impiego su frumento, nelle fasi di pre-emergenza e post-emergenza precoce (Geminiani et al., 2013); è utile soprattutto per la sua efficacia nei confronti di specie di sostituzione, selezionate dall'uso ripetuto di sulfoniluree dicotiledoniche (*Veronica* spp., *Viola arvensis*), nonché per la sinergia d'azione con altri erbicidi residuali (es. chlorotoluron).

Tabella 9. Gruppo F1, inibitori della biosintesi dei carotenoidi a livello della fitoene desaturasi (PDS).

Famiglia chimica: Nicotinanilidi <ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: contatto, assorbimento attraverso ipocotile e foglie (< radicale)• Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza precoce• Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Diflufenican	Stopper	1991	Frumento, orzo

Gruppo F2 – Inibitori dell'enzima 4-idrossifenil-piruvato-diossigenasi (4-HPPD) (Tabella 10)

Di questo gruppo fanno parte alcune sostanze attive appartenenti alle famiglie chimiche degli isossazoli e dei trichetoni, introdotte piuttosto recentemente per il diserbo preventivo e di post-emergenza del mais. Si tratta di erbicidi che agiscono sull'enzima 4-HPPD, catalizzatore nei processi di biosintesi dei pigmenti carotenoidi; sono efficaci su numerose infestanti a foglia larga e, parzialmente, su graminacee annuali.

L'introduzione di isoxaflutole (famiglia degli isossazoli) ha determinato un profondo cambiamento nelle strategie di diserbo del mais, grazie alla possibilità di controllare le infestazioni di *Abutilon theophrasti* con trattamenti di pre-emergenza (Geminiani et al., 2012). L'impiego di isoxaflutole si è affermato, negli anni, nelle più complete miscele con terbuthylazine e cloroacetammidi, favorendo una rivalutazione degli interventi precoci. Più recentemente isoxaflutole è stato proposto anche in associazione con l'antidoto cyprosulfamide, che ne rende più sicuro l'impiego e consente di utilizzarlo ad un dosaggio superiore di sostanza attiva, nonché nella miscela con thiencazone-methyl, che ne completa lo spettro d'azione (Geminiani et al., 2013).

L'altra famiglia appartenente a questo gruppo è quella dei trichetoni, prodotti ad azione sistemica impiegati, da alcuni anni, per il diserbo di post-emergenza del mais. Mesotrione e sulcotrione presentano anche una buona azione residuale nei confronti delle specie dicotiledoni (compreso *Abutilon theophrasti*), tanto da essere impiegati in applicazioni preventive, generalmente in miscela con terbuthylazine e cloroacetammidi. Il più recente tembotrione, utilizzabile esclusivamente in post-emergenza, si caratterizza, invece, per una buona efficacia verso alcune graminacee annuali. Questo aspetto è utile per la gestione delle popolazioni di *Echinochloa crus-galli* meno sensibili alle sulfoniluree graminicide, in particolare nelle zone caratterizzate da terreni torbosi, dove non è possibile intervenire efficacemente con erbicidi residuali in pre-emergenza della coltura.

Tabella 10. Gruppo F2, inibitori dell'enzima 4-idrossifenil-piruvato-diossigenasi (4-HPPD).

Famiglia chimica: Trichetoni			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare e radicale • Epoca di impiego: pre-emergenza (sulcotrione, mesotrione) e post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Sulcotrione	Mikado	1996	Mais
Mesotrione	Callisto	2002	Mais
Tembotrione	Laudis	2012	Mais
Famiglia chimica: Isossazoli			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso radici, ipocotile, coleoptile (< fogliare) • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza precoce • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Isoxaflutole	Merlin	1998	Mais

Gruppo F3 – Inibitori della biosintesi dei carotenoidi (target sconosciuto) (Tabella 11)

In questo gruppo rientra clomazone (isossazolidoni), utile per l'azione sinergica con altri erbicidi residuali a diverso meccanismo d'azione, nonché per la sua attività nei confronti di importanti infestanti graminacee e dicotiledoni, quali *Abutilon theophrasti*. Clomazone trova impiego nel diserbo preventivo di numerose colture orticole, ma anche su soia, mais e tabacco; nelle risaie seminate in asciutta è inoltre indicato, generalmente in associazione a pendimethalin, per il contenimento preventivo delle graminacee, comprese le popolazioni di *Echinochloa* spp. resistenti agli erbicidi di post-emergenza (Campagna et al., 2013).

Dello stesso gruppo fa parte anche aclonifen, appartenente alla famiglia dei difenileteri e caratterizzato da azione di contatto sulle plantule di specie dicotiledoni. Aclonifen trova impiego nel diserbo preventivo di alcune orticole, ma anche su girasole, mais e sorgo, in miscela con altre sostanze attive caratterizzate da diverso meccanismo d'azione ed attività complementare.

Amitrole è invece un erbicida sistemico e non selettivo (famiglia dei triazoli), reintrodotta recentemente per il controllo delle infestanti in aree extra-agricole, ma anche per la bonifica dei letti di semina (grazie soprattutto alla sua efficacia verso *Equisetum* spp.) e per il diserbo di colture arboree. Si presta in particolare a contrastare la diffusione di infestanti di sostituzione (es.

Equisetum spp., *Malva sylvestris*, *Conyza canadensis*), selezionate nel tempo dall'uso ripetuto e spesso esclusivo di glyphosate, ma anche per prevenire fenomeni di resistenza.

Tabella 11. Gruppo F3, inibitori della biosintesi dei pigmenti carotenoidi (target sconosciuto).

Famiglia chimica: Isossazolidoni <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso radici, ipocotile, coleoptile • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza precoce • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Clomazone	Command	2003	Orticole, riso, mais, tabacco
Famiglia chimica: Difenileteri <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: contatto, assorbimento attraverso radici, ipocotile, coleoptile e giovani foglie • Epoca di impiego: pre-emergenza e post-emergenza precoce • Attività erbicida: dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Aclonifen	Challenge	1993	Mais, sorgo, girasole, orticole
Famiglia chimica: Triazoli <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare (< radicale) • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali e perenni, equisetacee 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Amitrole	Weedazol	2009	Letti di semina, colture arboree, extra-agricolo

Gruppo G – Inibizione dell'enzima EPSP sintasi (Tabella 12)

Fa parte di questo gruppo il solo glyphosate (famiglia chimica dei composti organofosforici), attivo sulla maggior parte delle infestanti graminacee e dicotiledoni, sia annuali che perenni. Grazie al suo ampio spettro d'azione, questo prodotto ad azione sistemica rappresenta l'erbicida totale più diffusamente impiegato per il diserbo delle colture arboree, ma anche per la pulizia dei letti di semina e per usi extra-agricoli. Il suo impiego reiterato e spesso esclusivo determina però, in certi sistemi colturali, una forte pressione selettiva sulle infestanti (Campagna et al., 2013), con progressiva selezione di specie più tolleranti (es. *Malva sylvestris*, *Conyza canadensis*, *Parietaria officinalis*, *Epilobium* spp., *Equisetum* spp., ecc.), o di popolazioni resistenti (es. *Lolium* spp.).

Tabella 12. Gruppo G, inibitori dell'enzima EPSP sintasi (blocco della sintesi di aminoacidi aromatici).

Famiglia chimica: Composti organofosforici			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: graminacee e dicotiledoni annuali e perenni 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Glyphosate	Roundup	1977	Letti di semina, colture arboree, extra-agricolo
Sostanze attive attualmente non commercializzate: glyphosate-trimesium			

Gruppo H – Inibizione dell'enzima glutamina-sintetasi (Tabella 13)

Di questo gruppo fa parte glufosinate-ammonium, composto organofosforico caratterizzato da azione di contatto fogliare, attivo su dicotiledoni e graminacee annuali, ma in grado di disseccare anche la parte aerea di molte infestanti perenni. Pur penalizzato dalla nuova classificazione tossicologica, glufosinate-ammonium trova ancora impiego nel diserbo delle colture arboree (Campagna et al., 2013), come possibile alternativa a glyphosate. E' utilizzato soprattutto nelle applicazioni primaverili-estive e negli impianti giovani, grazie alla maggiore sicurezza d'impiego rispetto a glyphosate.

Tabella 13. Gruppo H, inibitori dell'enzima glutamina-sintetasi (arresto della sintesi proteica).

Famiglia chimica: Composti organofosforici			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: contatto, assorbimento fogliare • Epoca di impiego: post-emergenza • Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali e perenni 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Glufosinate-ammonium	Basta	1991	Colture arboree

Gruppo I – Inibizione del DHP (diidropteroato) sintasi

Di questo gruppo faceva parte il solo asulam, erbicida appartenente alla famiglia chimica dei carbammati, attualmente revocato.

Gruppo K1 – Inibitori dell'assemblaggio dei microtubuli (Tabella 14)

Notevole importanza è rivestita dalle dinitroaniline, famiglia chimica che nel tempo ha subito una forte riduzione delle sostanze attive disponibili. Si tratta di erbicidi caratterizzati da bassa solubilità in acqua, alta volatilità e, in taluni casi, elevata fotolabilità. Penetrano attraverso le radici o

l'ipocotile, inibendo il processo di divisione cellulare delle piante subito dopo la germinazione, senza essere traslocati in maniera apprezzabile. Data la loro attività antigerminello vengono utilizzati in pre-semina o pre-emergenza delle colture.

Nel corso del 2009 è stato revocato trifluralin, erbicida che per l'ampio spettro d'azione e la selettività nei confronti di numerose specie coltivate, rappresentava ancora la base del diserbo di diverse orticole (tra cui alcune colture minori).

Attualmente risultano disponibili benfluralin (Geminiani et al., 2012), impiegato prevalentemente nel diserbo delle insalate, e soprattutto pendimethalin, autorizzato su un'ampia gamma di colture, sia erbacee che arboree. Mentre sulle colture principali l'introduzione di nuove sostanze attive ed il continuo aggiornamento tecnico forniscono, in molti casi, valide alternative all'utilizzo di questo erbicida, il suo impiego rimane spesso indispensabile per il diserbo di alcune colture orticole e minori (Rapparini et al., 2008), per le quali la disponibilità di mezzi tecnici è più limitata. Pendimethalin rappresenta, infatti, un valido strumento per il controllo di importanti specie infestanti (es. *Solanum nigrum* su patata e pomodoro), ed è impiegato generalmente in miscela con altri erbicidi residuali caratterizzati da uno spettro d'azione complementare. Mantiene inoltre una certa importanza nel diserbo di pre-emergenza del riso a semina interrata.

Tabella 14. Gruppo K1, inibitori dell'assemblaggio dei microtubuli.

Famiglia chimica: Dinitroaniline			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: contatto, assorbimento attraverso ipocotile, coleoptile, radici • Epoca di impiego: pre-semina (benfluralin), pre-emergenza • Attività erbicida: graminacee e dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Benfluralin	Bonalan	1972	Orticole, medica
Pendimethalin	Stomp	1974	Orticole, industriali, frumento, riso, colture arboree
Sostanze attive revocate: trifluralin, dinitramine, isopropalin			
Famiglia chimica: Benzammidi			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso radici e germinelli • Epoca di impiego: pre-semina, pre-emergenza, post-emergenza • Attività erbicida: graminacee e dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Propyzamide	Kerb	1974	Barbabietola, insalate, medica
Famiglia chimica: Derivati dell'acido ftalico			
Sostanze attive revocate: chlortal-dimethyl			

Relativamente a pendimethalin si segnala l'introduzione, negli ultimi anni, di nuove formulazioni microincapsulate, che garantiscono una maggiore stabilità della sostanza attiva nel terreno ed un'azione più costante nel tempo.

Dello stesso gruppo fa parte anche propyzamide, sostanza attiva appartenente alla famiglia chimica delle benzammidi. Questo prodotto rappresenta, in miscela con altri residuali (es. benfluralin), la base del diserbo delle insalate, ma è anche l'unico mezzo chimico impiegabile per il contenimento delle cuscute nei medicaei (Campagna et al., 2013) e nelle coltivazioni di barbabietola da zucchero (Campagna e Rapparini, 2011).

Gruppo K2 – Inibitori della mitosi e dell'organizzazione dei microtubuli (Tabella 15)

Di questo gruppo attualmente fa parte il solo chlorpropham, carbammato che trova un limitato impiego in alcune colture orticole.

Tabella 15. Gruppo K2, inibitori della mitosi e dell'organizzazione dei microtubuli.

Famiglia chimica: Carbammati <ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso coleoptile e radici • Epoca di impiego: pre-semina, pre-emergenza • Attività erbicida: graminacee e dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Chlorpropham	CiPC	1964	Orticole

Gruppo K3 – Inibitori della divisione cellulare (Tabella 16)

E' un importante gruppo che comprende diversi erbicidi ad azione antigerminello, con prevalente attività verso le graminacee annuali. Data la loro attività radicale, questi prodotti necessitano di essere distribuiti in pre-emergenza delle infestanti o in post-emergenza precoce, su terreno umido, per favorirne l'assorbimento.

La maggior parte di essi sono diffusamente impiegati nel diserbo preventivo del mais, prevalentemente in miscela con terbuthylazine, ma alcuni rivestono un'elevata importanza anche su altre colture industriali ed orticole, come soia, girasole, patata, pomodoro, ecc. Recente è anche l'impiego di flufenacet nelle risaie, per il controllo del riso crodo.

Della famiglia delle cloroacetammidi sono attualmente disponibili S-metolachlor, metazachlor, dimethenamid-p e pethoxamid, mentre sono stati ritirati pretilachlor, alachlor, acetochlor e propachlor. Se per quanto riguarda alachlor ed acetochlor esistono valide alternative impiegabili su

mais, la revoca di propachlor ha creato alcuni problemi nel diserbo del sorgo, in quanto unico prodotto impiegabile in pre-emergenza della coltura per il controllo di *Echinochloa crus-galli* e delle altre graminacee annuali. La principale novità degli ultimi anni è rappresentata dall'introduzione di pethoxamid, autorizzata su mais e soia (Campagna et al., 2012).

Per alcuni di questi prodotti si rileva l'introduzione di formulati contenenti i soli isomeri attivi (S-metolachlor in sostituzione di metolachlor, dimethenamid-p in sostituzione di dimethenamid); l'incremento del grado di purezza delle sostanze attive attraverso l'eliminazione delle componenti prive di efficacia biologica ha permesso di ottenere una significativa riduzione dell'apporto complessivo di questi erbicidi.

Invariata è la disponibilità degli erbicidi appartenenti alle famiglie delle propionammidi (napropamide, applicabile su diverse orticole e colture minori) e ossiacetanilidi (flufenacet).

Tabella 16. Gruppo K3, inibitori dei processi di divisione e distensione cellulare.

Famiglia chimica: Cloroacetammidi			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso semi, coleoptile, ipocotile, radici • Epoca di impiego: pre-semina, pre-emergenza, post-emergenza precoce • Attività erbicida: graminacee e alcune dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
S-metolachlor	Dual Gold	2001	Mais, orticole, industriali
Metazachlor	Butisan	1986	Patata, crucifere
Dimethenamid-P	Spectrum	2005	Mais
Pethoxamid	Successor	2008	Mais, soia
Sostanze attive revocate: acetochlor, alachlor, dimethenamid, metolachlor, pretilachlor, propachlor			
Famiglia chimica: Propionammidi			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso semi, coleoptile, ipocotile, radici • Epoca di impiego: pre-emergenza, post-emergenza precoce • Attività erbicida: graminacee e alcune dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Napropamide	Devrinol	1988	Orticole
Sostanze attive revocate: diphenamid			
Famiglia chimica: Ossiacetanilidi			
<ul style="list-style-type: none"> • Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso semi, coleoptile, ipocotile, radici • Epoca di impiego: pre-emergenza, post-emergenza precoce • Attività erbicida: graminacee e alcune dicotiledoni annuali 			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Flufenacet	Cadou	2000	Mais, soia, patata, pomodoro, riso

Gruppo L – Inibitori della sintesi della parete cellulare (cellulosa) (Tabella 17)

Questo meccanismo d'azione coinvolge il solo isoxaben, principio attivo appartenente alla famiglia chimica delle benzammidi, impiegato come erbicida residuale nei vivai e nei giovani impianti di colture arboree, nonché per usi extra-agricoli.

Tabella 17. Gruppo L, inibitori della sintesi della parete cellulare (cellulosa).

Famiglia chimica: Benzammidi			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: sistemica, assorbimento radicale (< fogliare)• Epoca di impiego: pre-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Isoxaben	Gallery	1992	Vivai di arboree

Gruppo N – Inibitori della sintesi dei lipidi (non a livello dell'ACCasi) (Tabella 18)

Tra gli erbicidi caratterizzati da questo meccanismo d'azione si ricordano i tiocarbammati, famiglia che ha visto nel tempo l'esclusione di diverse sostanze attive. Tra queste si segnalano molinate e thiobencarb, prodotti ad azione antigerminello impiegati per il controllo dei giavoni nelle risaie e utili per la gestione delle problematiche di resistenza. Thiobencarb risulta revocato, mentre per quanto riguarda molinate non esistono formulati attualmente commercializzati.

Tabella 18. Gruppo N, inibitori della sintesi dei lipidi (senza inibizione dell'ACCasi).

Famiglia chimica: Benzofurani			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso radici, coleoptile (< fogliare)• Epoca di impiego: pre-emergenza, post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni e graminacee annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Ethofumesate	Tramat	1976	Barbabietola
Famiglia chimica: Tiocarbammati			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: sistemica, assorbimento attraverso coleoptile (< radicale)• Epoca di impiego: pre-emergenza• Attività erbicida: graminacee annuali			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Triallate	Avadex	2013	Frumento
Sostanze attive revocate: butylate, cycloate, EPTC, molinate, thiobencarb			

Nella stessa famiglia si segnala, invece, la recente introduzione di triallate, indicato per il diserbo preventivo di frumento e orzo. Questo prodotto, proposto in formulazione microincapsulata (che non necessita di interrimento), può essere utile per la gestione delle graminacee resistenti, grazie al meccanismo d'azione diverso rispetto ai graminicidi comunemente impiegati sui cereali autunno-vernini.

Dello stesso gruppo fanno parte anche i benzofurani, comprendenti il solo ethofumesate, impiegato nel diserbo di pre-emergenza e post-emergenza della barbabietola da zucchero.

Gruppo O – Auxine sintetiche (azione simile all'acido indol acetico) (Tabella 19)

Di questo gruppo fanno parte numerosi erbicidi, alcuni dei quali introdotti già negli anni '50, ma ancora oggi largamente impiegati. Si tratta di prodotti caratterizzati da azione sistemica, con assorbimento fogliare ma anche radicale (variabile a seconda della sostanza attiva); sono efficaci nei confronti di numerose dicotiledoni annuali e perenni, ma anche verso equisetacee, liliacee, ecc., mentre risultano selettivi verso le graminacee. Manifestano un'attività auxino-simile, interferendo con i meccanismi di sintesi degli acidi nucleici e delle proteine e causando alterazioni enzimatiche, respiratorie e traspiratorie.

Tra gli acidi fenossialcanoici, 2,4-D, MCPA e MCPP sono tuttora utilizzati nel diserbo di post-emergenza dei cereali autunno-vernini (Geminiani et al., 2013), per specifici interventi tardivi (in particolare per il controllo delle perenni) o in miscela con altri principi attivi, per integrarne lo spettro d'azione e prevenire fenomeni di resistenza. MCPA trova un valido impiego anche su riso, in miscela con altri erbicidi, per la gestione di ciperacee ed alismatacee resistenti agli ALS inibitori. 2,4-DB, infine, è impiegato per il diserbo di post-emergenza di prati e medicaia.

Su frumento sono stati segnalati alcuni casi di resistenza al 2,4-D da parte di *Papaver rhoeas* (a volte con resistenza multipla anche agli ALS inibitori).

Negli ultimi anni si è registrata l'introduzione di formulati contenenti MCPP-P, isomero attivo di MCPP.

Tra i derivati dell'acido benzoico si dispone di dicamba, largamente impiegato negli interventi di post-emergenza su mais, per integrare l'azione dei dicotiledonici e per il controllo di perenni a foglia larga.

Tabella 19. Gruppo O, azione simile all'acido indolacetico ("auxine sintetiche").

Famiglia chimica: Acidi fenossialcanoici			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare radicale (variabile a seconda della sostanza attiva)• Epoca di impiego: post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni annuali e perenni, liliacee, equisetacee			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
2,4-D	Embutox	1954	Frumento, orzo, mais, sorgo
2,4-DB	Butyrac	1960	Medica, prati
MCPA	Agroxone	1954	Frumento, orzo, mais, sorgo, riso, arboree
MCPP	-	1958	Frumento, orzo, prati
MCPP-P	-	2008	
Famiglia chimica: Derivati dell'acido benzoico			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare radicale• Epoca di impiego: post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni annuali e perenni, liliacee, equisetacee			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Dicamba	Banvel	1968	Frumento, orzo, mais, sorgo, melo, prati
Famiglia chimica: Piridine			
<ul style="list-style-type: none">• Modalità di azione: sistemica, assorbimento fogliare radicale• Epoca di impiego: post-emergenza• Attività erbicida: dicotiledoni annuali e perenni, liliacee, equisetacee			
Nome comune	Marchio registrato	Anno introduzione (Italia)	Settori d'impiego
Picloram	Tordon	1975	Extra-agricolo
Triclopyr	Garlon	1984	Riso, extra-agricolo
Clopyralid	Lontrel	1979	Frumento, orzo, mais, bietola, orticole
Fluroxypyr	Starane	1991	Frumento, orzo, mais
Aminopyralid	Runway	2012	Extra-agricolo, frumento
Famiglia chimica: Quinoline			
Sostanze attive revocate: quinclorac (deroga per situazioni di emergenza fitosanitaria su riso).			

Per quanto riguarda le piridine, picloram trova impiego come arbusticida, nelle aree extra-agricole, mentre triclopyr è utile su riso, in associazione ad MCPA e propanil, per la gestione di ciperacee ed alismataceae resistenti agli ALS inibitori. Clopyralid è impiegato prevalentemente su frumento e

barbabietola da zucchero, per applicazioni specifiche su infestanti di difficile contenimento (es. asteracee, ombrellifere), mentre fluroxypyr è utilizzato nel diserbo dei cereali autunno-vernini (grazie all'ottima azione verso *Galium aparine*) e del mais, in miscela con altri dicotiledonici. Recente è l'introduzione di aminopyralid, indicato nel diserbo delle aree extra-agricole per il controllo di dicotiledoni annuali e perenni. Il prodotto è autorizzato anche su frumento, dove potrebbe essere utile per la gestione di papaveri resistenti, anche se l'elevata persistenza nel terreno e nei residui colturali ne limita fortemente l'impiego.

Tra gli erbicidi aventi un meccanismo d'azione simile (almeno sulle dicotiledoni sensibili) si segnala anche quinclorac, sostanza attiva appartenente alla famiglia chimica delle quinoline ed impiegata nel diserbo di post-emergenza del riso. Nonostante la revoca, per quinclorac sono annualmente richieste deroghe per uso indispensabile, in quanto questo erbicida risulta utile, in associazione a prodotti aventi un diverso meccanismo d'azione, per la gestione dei giavoni resistenti.

L'introduzione degli isomeri

La necessità di ridurre l'impiego di sostanze chimiche e renderle più compatibili con le nuove esigenze di salvaguardia della salute umana e di rispetto per l'ambiente, ha orientato la ricerca delle industrie agrochimiche verso un incremento del grado di purezza dei diserbanti di più vecchia introduzione. Per alcuni erbicidi, infatti, i processi di sintesi industriale portano alla formazione di una miscela di isomeri caratterizzati da diverso grado di azione nei confronti delle infestanti. Attraverso l'isolamento degli isomeri attivi e l'eliminazione delle componenti prive di attività biologica sono stati ottenuti formulati che, pur mantenendo la stessa efficacia erbicida, consentono una riduzione consistente dell'apporto di erbicida.

I principali erbicidi di cui sono stati isolati gli isomeri attivi sono:

- Cloroacetammidi: S-metolachlor (metolachlor), dimethenamide-P (dimethenamid)
- Arilossifenossipropionati: fenoxaprop-P-ethyl (fenoxaprop-ethyl), quizalofop-P-ethyl e quizalofop-ethyl isomero D (quizalofop-ethyl), fluazifop-P-buthyl (fluazifop-buthyl)
- Acidi fenossialcanoici: MCPP-P (MCPP)

L'evoluzione dei formulati

Nell'ambito dell'attuale disponibilità di erbicidi, importanti miglioramenti sono stati ottenuti con l'evoluzione delle formulazioni, riviste dalle società produttrici soprattutto per ridurre la fitotossicità e la pericolosità per l'operatore e l'ambiente, ma anche per facilitarne l'impiego e la distribuzione e per favorirne il grado di efficacia e la compatibilità.

In tabella 20 vengono riportate le principali tipologie di formulazioni degli erbicidi.

Tabella 20. Principali caratteristiche delle formulazioni degli erbicidi attualmente disponibili.

<p>Granuli solubili : SG (Soluble Granules) o WSG (Water-Soluble Granules) o SX</p> <ul style="list-style-type: none">• Pericolosità per operatore e ambiente: limitata• Fitotossicità: limitata• Effetti sulle irroratrici: limitati• Richiesta agitazione: solo in fase di miscelazione• Compatibilità con altri formulati: scarsa• Altre caratteristiche: formano soluzioni in acqua; elevata % p.a., dosaggio facilitato rispetto alle polveri solubili, stoccaggio e conservazione agevolati senza umidità. <p>Esempi: Basagran SG, Buggy 360SGNET, Lontrel 75G, Granstar Power SX, Granstar Ultra SX, Harmony 50SX</p>
<p>Polveri bagnabili: WP (Wettable Powders)</p> <ul style="list-style-type: none">• Pericolosità per operatore e ambiente: rischio inalazione• Fitotossicità: limitata• Effetti sulle irroratrici: abrasività• Richiesta agitazione: energica• Compatibilità con altri formulati: elevata• Altre caratteristiche: formano sospensioni in acqua; elevata % p.a., poco costose, stoccaggio e conservazione agevolati senza umidità <p>Esempi: Venzar</p>
<p>Granuli idrodispersibili : WDG (Water Dispersible Granules), DG (Dry Granules), DF (Dry Flowable), WG (Water Granules)</p> <ul style="list-style-type: none">• Pericolosità per operatore e ambiente: limitata• Fitotossicità: limitata• Effetti sulle irroratrici: abrasività• Richiesta agitazione: energica• Compatibilità con altri formulati: buona• Altre caratteristiche: formano sospensioni in acqua; elevata % p.a., dosaggio facilitato rispetto a WP, stoccaggio e conservazione agevolati senza umidità <p>Esempi: WDG: Casper, Logran, Peak, Hussar Maxx, Tooler; DF: Volcan, Executive, Glean 75DF, Gulliver, Safari, Titus Mais Ultra; WG: Atlantis WG, Sencor WG, Sunrice WG 60, Algedi</p>

Tabella 20 (continua). Principali caratteristiche delle formulazioni degli erbicidi attualmente disponibili.

<p>Sospensione concentrata : SC (Suspension Concentrate), FL (Flowable)</p> <p>Dispersione oleosa: OD (Oil Dispersion)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pericolosità per l'ambiente: medio-elevata • Fitotossicità: possibile • Effetti sulle irroratrici: lieve corrosività per parti in gomma • Richiesta agitazione: energica • Compatibilità con altri formulati: scarsa • Altre caratteristiche: possibile sedimentazione nella confezione <p>Esempi: Calaris, Callisto, Primagram Gold, Ghibli, Aspect, Cadou Riso, Challenge, Merlin Flexx, Nominee, Mikado, Butisan S, Troler Top, Kocis, Azimut, Gallery, Targa Flo, Kerb Flo, Pyramin FL, Ronstar FL, Buggy;</p> <p>OD: Equip, Viper, Elumis</p>
<p>Concentrato emulsionabile : EC (Emulsifiable Concentrate)</p> <p>Emulsione concentrata: EC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pericolosità per operatore e ambiente: elevata esposizione dermale e per l'ambiente (fauna acquatica) • Fitotossicità: medio-elevata (maggior volatilità e rischio deriva) • Effetti sulle irroratrici: corrosività per parti in gomma • Richiesta agitazione: ridotta • Compatibilità con altri formulati: scarsa • Altre caratteristiche: adatta per formulazioni estere <p>Esempi: Dual Gold, Fusilade Max, Traxos One, Traxos Pronto, Axial Pronto, Cipotril, Allegory Gold, Aramo 50, Aura, Betanal Expert (EC in olio), Oklahoma, Spectrum, Stratos, Stratos Ultra, Evolution, Agil, Clincher, Evade, Garlon</p>
<p>Suspo-emulsione : SE (Suspo-Emulsion)</p> <p>Miscela CE + SC: Betanal SE, Akris, Kemifam Trio, Kicker</p>
<p>Concentrati solubili in acqua : WSC (Water-Soluble Concentrate)</p> <p>Liquido solubile : SL (Liquid Concentrate)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pericolosità per operatore e ambiente: possibile irritazione oculare • Fitotossicità: limitata per la scarsa volatilità • Effetti sulle irroratrici: limitata • Richiesta agitazione: limitata • Compatibilità con altri formulati: scarsa <p>Altre caratteristiche: formano soluzioni in acqua; facilitata pulizia dei recipienti e delle irroratrici; adatte per sali</p> <p>Esempi: Mondak 21S, Touchdown, Roundup Bioflow, Hopper, Altorex, Tuareg, Reglone W, Fenoxilene Max, Tordon</p>
<p>Sospensione acquosa concentrata di microcapsule: CS (Capsule Suspensions)</p> <p>Liquido microincapsulato</p> <p>Esempi: Command 36CS, Most Micro, Stomp Aqua</p>

Molti principi attivi sono caratterizzati da una base acida attiva che non verrebbe assorbita attraverso la cuticola e nemmeno ben conservata nel preparato commerciale. Per questo durante la sintesi occorre procedere secondo differenti modalità, in funzione delle caratteristiche richieste per l'applicazione. Ad esempio 2,4-D addizionato di un alcool diventa un estere (formulato come

concentrato emulsionabile, EC), mentre con un catione salifica (formulato in genere come soluzione concentrata, WSC), formando un preparato solubile in acqua. Altri erbicidi che presentano queste caratteristiche sono 2,4-DB, MCPA, MCPP, triclopir e picloram. Anche glyphosate deve essere salificato (Nalewaja e Matysiak, 1993), mentre bromoxynil e ioxynil sono generalmente formulati sottoforma di estere (bromoxynil fenolo, b. butirato, b. ottanoato, ioxynil ottanoato).

Le formulazioni estere risultano di norma più volatili, più fitotossiche e possono causare problematiche di deriva indiretta con temperature medio-elevate e limitata umidità relativa; possono inoltre risultare più dannose nei confronti della fauna acquatica. Esse sono, per contro, più attive verso le malerbe, in quanto più solubili nei lipidi ed in grado di muoversi più efficacemente attraverso la cuticola fogliare.

La volatilità di un erbicida aumenta con il diminuire della grandezza della molecola e quindi è influenzata dal peso dell'alcool addizionato in fase di esterificazione. Essa risulta quindi più elevata con gli esteri leggeri (anilici, etilici, metilici, isopropilici, ecc.) e più bassa con gli esteri pesanti (butilglicolici, butossietolici, butossiglicolici, ecc.).

Il grado di volatilità è influenzato, inoltre, dalle temperature: 2,4-D può iniziare ad evaporare ad appena 4,5-5 °C, anche se a valori trascurabili; passando dai 17° ai 25 °C la tensione di vapore triplica e di conseguenza anche le perdite per volatilizzazione, aumentando notevolmente i rischi connessi. L'evaporazione del prodotto si verifica in condizioni di temperature più elevate nel caso di formulazione di sale ammonico o sodico-potassico.

Gli esteri a bassa volatilità come dicamba producono vapori con temperature superiori a 20 °C.

I sali sodici danno maggior problemi di insolubilizzazione e dissociazione in acque dure, o a seguito dell'aggiunta di fertilizzanti fogliari, con problemi di intasamento dei filtri e riduzione dell'efficacia. Gli esteri invece non precipitano in acqua, in quanto non subiscono processi di insolubilizzazione. A seguito della scarsa solubilità in acqua, gli esteri hanno anche una minore tendenza alla percolazione nel terreno.

Le formulazioni estere differiscono notevolmente dai sali. Nella tabella 21 sono riassunti i principali aspetti pratici che ne derivano.

Tabella 21. Principali aspetti positivi e negativi delle formulazioni estere e sale.

Formulazioni estere	
Vantaggi	Svantaggi
Migliore penetrazione attraverso le cuticole	Maggiore volatilità con temperature medio-elevate
Maggiore efficacia erbicida	Maggiore deriva indiretta
Maggiore compatibilità con altri erbicidi	Possibili danni alle colture più sensibili (pomodoro, cucurbitacee, vite, ecc.)
Maggior azione nel periodo invernale	
Formulazioni sale	
Vantaggi	Svantaggi
Maggiore solubilità in acqua	Possibile precipitazione in acque dure
Maggior azione nel periodo estivo	Maggiore irritabilità oculare
Minor costo	
Maggior sicurezza d'impiego	

L'impiego degli antidoti

Studi relativamente recenti hanno evidenziato la capacità di alcune specie coltivate di rispondere ai trattamenti erbicidi, attivando dei meccanismi biochimici in grado di stimolare una loro più rapida metabolizzazione e detossificazione. L'impiego di sostanze in grado di stimolare tali meccanismi ha la funzione di antidoto (o fitoprotettore), mediante l'attivazione di enzimi in grado di catalizzare la coniugazione della molecola erbicida con composti endogeni del vegetale (glutazione, glucosio, amminoacidi), trasformandola così in un derivato che non risulta più tossico per la pianta (Campagna e Rapparini, 2007).

L'impiego degli antidoti permette di proteggere le colture da danni da fitotossicità; ovviamente la loro azione deve essere selettiva, in quanto debbono assicurare il loro funzionamento solo sulla coltura, senza ridurre il grado d'azione degli erbicidi verso le malerbe. La risposta è strettamente dipendente dalla dose di applicazione: dosi troppo elevate dell'antidoto possono sortire effetti su specie infestanti che invece dovrebbero essere controllate dall'erbicida.

Questi composti, appartenenti a differenti famiglie chimiche, possono essere impiegati in miscela sia con erbicidi di pre-emergenza che di post-emergenza.

La fitoprotezione venne scoperta casualmente nel 1947 da Hoffman, a seguito di un'esposizione accidentale di pomodoro a vapori di 2,4-D. Alcune piante manifestavano i caratteristici sintomi di fitotossicità, a differenza di altre preventivamente trattate con un altro erbicida, il 2,4,6 T, che non

presentavano nessun danno. Ulteriori esperimenti dimostrarono che anche il frumento trattato con 2,4-D non era danneggiato da altri erbicidi. Dall'approfondimento di questi esperimenti si riuscì a mettere a punto il primo antidoto commerciale (1,8 anidride naftalica), utilizzato quale conciante dei semi di mais allo scopo di ridurre i danni da fitotossicità causati dall'impiego di tiocarbammati (butilate, EPTC). Successivamente venne messo a punto un altro antidoto per il mais (dichlormid), in grado di migliorare il grado di selettività di EPTC e butylate sulla coltura.

L'intensa attività di ricerca ha portato alla messa a punto, nel corso degli ultimi 30 anni, di altri antidoti. La maggior parte di queste sostanze era associata ad erbicidi di pre-emergenza impiegati su cereali a paglia, mais, sorgo e riso. Successivamente è stato sviluppato l'impiego degli antidoti anche in associazione ad erbicidi di post-emergenza impiegati sui cereali autunno-vernini (arilossifenossipropionati, sulfoniluree, ecc.) (Tabella 22).

Tabella 22. Principali antidoti impiegati in associazione agli erbicidi.

Antidoti	Erbicidi	Formulati commerciali	Applicazione
Cereali vernini			
cloquintocet-mexyl	clodinafop-propargyl	Topik 80EC, Vip 80, Trace 80, Celio, Golem	Post-em.
	clodinafop-propargyl + diflufenican	Ravenas Extra	
cloquintocet-mexyl	pinoxaden	Axial Pronto	Post-em.
cloquintocet-mexyl	clodinafop-propargyl + pinoxaden (+ florasulam)	Traxos Pronto (Traxos One)	Post-em.
cloquintocet-mexyl	fenoxaprop-p-ethyl	Starprop, Foxtrot	Post-em.
cloquintocet-mexyl	pyroxsulam + florasulam	Floramix	Post-em.
mefenpyr-diethyl	fenoxaprop-p-ethyl + iodosulfuron-methyl-sodium	Puma Gold	Post-em.
mefenpyr-diethyl	iodosulfuron-methyl-sodium + mesosulfuron-methyl	Atlantis WG Hussar Max	Post-em.
mefenpyr-diethyl	propoxycarbazone-sodium + iodosulfuron-methyl-sodium (+ amidosulfuron)	Miscanti Duo (Caliban Top)	Post-em.
Mais			
cyprosulfamide	isoxaflutole	Merlin Flexx	Pre-em. e post-precocce
	isoxaflutole + thyencarbazone-ethyl	Adengo	
isoxadifen-ethyl	tembotrione	Laudis	Post-em.
isoxadifen-ethyl	foramsulfuron	Equip	Post-em.

L'utilizzo dei coadiuvanti

L'addizione di coadiuvanti, sia in via estemporanea che direttamente nei formulati, è una tematica affrontata in questi ultimi decenni per l'ottimizzazione dell'impiego degli erbicidi.

I primi tentativi per migliorare le applicazioni fitoiatriche risalgono alla fine del XIX° secolo, quando negli Stati Uniti vennero utilizzati saponi, kerosene, grassi animali e oli vegetali, colla, amido, ecc., allo scopo di incrementare l'attività di insetticidi e fungicidi. Si debbono comunque ad esperienze condotte nel corso degli anni '50 le prime applicazioni di olio paraffinico in miscela con triazine e derivati ureici, per aumentare il grado di efficacia verso le malerbe che infestavano mais, soia e cotone negli Stati Uniti. Da allora l'olio minerale è divenuto uno dei coadiuvanti più utilizzati fino ai giorni nostri.

Un altro utilizzo che risale agli anni '70 è quello del solfato ammonico, impiegato in miscela con glyphosate (Del Pino, 1992). Più recentemente sono stati introdotti gli organo-siliconi (Juying e Dastgheib, 2001), gli alcoli alifatici poliossietilenici, i nonilfenoli, le ammine alifatiche, le ammine grasse etossilate, gli oli vegetali (colza e soia), più o meno metilati, le lecitine, ecc.

Alcuni esempi pratici riguardano i graminicidi specifici, come il cicloesenone cycloxydim; l'addizione di olio minerale ne favorisce l'assorbimento, in particolare in condizioni ambientali sfavorevoli. Un altro caso simile è quello di fluazifop-P-butyl tra gli arilossifenossipropionati, che necessitava dell'addizione di bagnante. A fronte di questi evidenti effetti, l'industria agrochimica ha provveduto a pre-formulare cycloxydim e fluazifop-P-butyl con coadiuvanti specifici, allo scopo di regolarizzarne il grado d'azione.

Anche nel caso di glyphosate (che è un acido relativamente insolubile e deve essere formulato come sale isopropilamminico, sodico, potassico o d'ammonio per essere assorbito), il tipo di formulazione e gli attivanti svolgono un ruolo determinante (Leaper e Holloway, 2000), talvolta più della stessa dose d'impiego (Rapparini et al., 2004). Il ricorso a coformulanti specifici è necessario per regolarizzare e ottimizzare il grado di efficacia (Sharma et al., 2003), in particolare in difficili condizioni applicative (Rapparini et al., 2000), attraverso il miglioramento della ritenzione e dell'assorbimento fogliare nelle specie meno sensibili e con superfici più ricche di barriere naturali (perenni, *Abutilon theophrasti*, *Bidens* spp., *Chenopodium* spp., *Polygonum aviculare*).

Tra gli altri erbicidi, anche la maggior parte delle sulfoniluree necessita di essere addizionata di coadiuvanti per esplicare al meglio la propria attività biologica (Tabella 23).

Tabella 23. Principali erbicidi che richiedono l'aggiunta estemporanea di coadiuvanti.

Famiglia chimica	Erbicida	Attivante	Coltura
Sulfoniluree	Granstar, Logran	Bagnanti, olio di colza	Frumento
	Puma Gold, Atlantis WG, Hussar Maxx	Bagnante (Biopower)	Frumento
	Titus Mais Ultra, Principal Mais, Grid	Bagnanti non ionici, olio di colza (Codacide)	Mais
	Safari	Olio minerale, olio di colza	Barbabietola
	Londax 60 DF, Gulliver	Bagnante	Riso
Piridiniltiobenzoiati	Nominee	Biopower	Riso
Triazolo pirimidine	Floramix	Bagnante (Wetting Plus)	Cereali vernini
Triazoloni	Caliban Top	Bagnante (Wetting Plus)	Cereali vernini
Composti organofosforici	glyphosate (vari)	Solfato ammonico	Letti di semina, ecc.
Ariossifenossipropionati	Topik 80 EC	Bagnante, oli minerale e di colza	Frumento
	Clincher	Astrol	Riso
Cicloesenoni	Grasp	Bagnante (Atplus G)	Frumento
	Stratos	Olio minerale	Sarchiate, ortive, ecc.
	Select	Olio minerale	Sarchiate, ortive, ecc.
	Aura	Metil-oleato + metil-palmitato (Dash HC)	Riso
Composti ormonici	2,4-D + MCPA	Olio minerale	Mais
	MCPA + dicamba	Olio minerale	Mais
Dipiridilici	Reglone W	Bagnanti	Letti di semina, ecc.
Fenilcarbammati	Betanal, Betanal Expert	Olio minerale	Barbabietola
Benzotiadiazine	Basagran SG	Olio minerale	Mais, soia

Bibliografia

Balsari P, Tamagnone M (2000). L'evoluzione del diserbo: il ruolo dei mezzi di distribuzione. *Atti XII Convegno SIRFI*, pp 55-67.

Campagna G, Fabbri M, Romagnoli S (2012). Esperienze di diserbo di pre-emergenza e post-emergenza della soia. *Atti Giornate Fitopatologiche 2012*, pp 571-578.

Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2007). Come ottimizzare l'impiego dei graminicidi. *L'Informatore Agrario* 29: 71-75.

Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2013). Gestione integrata delle malerbe nel vigneto e nel frutteto. *L'Informatore Agrario* 39: 49-54.

Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2013). Il diserbo del girasole si attua in pre-emergenza. *L'Informatore Agrario* 13: 49-53.

Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2013). Il diserbo della medica preserva produzione e qualità. *L'Informatore Agrario* 8: 64-67.

- Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2013). Il diserbo primaverile del vigneto e del frutteto. *L'Informatore Agrario* 16: 5-9.
- Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2013). Strategie di controllo dei giavoni per evitare resistenza. *L'Informatore Agrario* 26: 50-54.
- Campagna G, Geminiani E, Rapparini G (2013). Strategie integrate per il diserbo del riso. *L'Informatore Agrario* 14: 53-59.
- Campagna G, Meriggi P, Rapparini G (2011). Il contributo del diserbo chimico nella gestione integrata delle malerbe. *Atti XVIII Convegno SIRFI*, Bologna, pp 41-102.
- Campagna G, Rapparini G (2007). Antidoti, un ruolo fondamentale nel diserbo delle colture. *L'Informatore Agrario* 38: 51-55.
- Campagna G, Rapparini G (2011). Difesa preventiva per il controllo delle cuscute. *L'Informatore Agrario* 45: 62-65.
- Covarelli G (2007). Le strategie nella gestione sostenibile degli agro farmaci: gli erbicidi. *Atti Convegno SIRFI*, Bologna, pp 35-53.
- Del Pino A (1992). Riduzione della dose d'impiego del glyphosate mediante l'utilizzo di diversi additivi. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 3, pp 151-160.
- Elmore LC (1996). A reintroduction to integrated weed management. *Weed Sci* 44: 409-412.
- Ferrero A, Vidotto F, Costa E, Zanin G, Catizone P 2010. *Storia della lotta alle malerbe*. 55pp Perugia: SIRFI
- Gauvrit C, Muller T, Trouvé G, 2007. Ethoxylated rapeseed oil derivatives as non-ionic adjuvants for glyphosate. *Pest Management Science*, (63) 7: 707-713.
- Geminiani E, Campagna G, Fabbri M (2012). Verifica delle modalità di impiego di benfluralin, propizamide e imazamox su medica di nuovo impianto. *Atti Giornate Fitopatologiche*, pp 587-594.
- Geminiani E, Campagna G, Rapparini G (2012). Verifiche dell'attività e della selettività di nuovi formulati a base di isoxaflutole (Merlin Flexx, Adengo) applicati in pre-emergenza e post-emergenza precoce del mais. *Atti Giornate Fitopatologiche*, pp 553-562.
- Geminiani E, Campagna G, Rapparini G (2013). Diserbo in post-emergenza strategico per il frumento. *L'Informatore Agrario* 2: 60-68.
- Geminiani E, Campagna G, Rapparini G (2013). Diserbo preventivo risolutivo per il mais. *L'Informatore Agrario* 4: 53-60.
- Geminiani E, Campagna G, Rapparini G (2013). Il post-emergenza resta strategico nel diserbo della soia. *L'Informatore Agrario* 9: 63-69.
- Geminiani E, Campagna G, Rapparini G (2013). Post-emergenza su mais strategico contro la sorghetta. *L'Informatore Agrario* 12: 51-56.
- Geminiani E, Campagna G, Rapparini G (2013). Quando conviene il diserbo preventivo del frumento. *L'Informatore Agrario*, 35, pp 50-55.
- Juying W, Dastgheib F (2001). Interactions between glyphosate formulations and organosilicone surfactants on perennial grasses. *Proceedings of BCPC Conference – Weeds, Brighton – UK*, pp 695-700.
- Knezevic SZ, Cassman KG (2003). Use of herbicide-tolerant crops as a component of an integrated weed management program. *Crop Management*, 10: doi:1094/CM-2003-0317-01-MG.
- Leaper C, Holloway PJ (2000). Adjuvants and glyphosate activity. *Pest Management Science* 56: 313-319.

- Masin R, Otto S, Zanin G (2007). Il ruolo della gestione agronomica nella lotta alle malerbe. *Atti Convegno SIRFI*, pp 73-90.
- Nalewaja JD, Matysiak R (1993). Optimizing adjuvants to overcome glyphosate antagonistic salts. *Weed Technology* (7) 2: 337-342.
- Paolini R (2000). L'evoluzione del diserbo: le pratiche agronomiche. *Atti XII Convegno SIRFI*, pp 19-54.
- Piccardi P (2000). L'evoluzione del diserbo: gli erbicidi. *Atti XII Convegno SIRFI*, pp 1-18.
- Ramsey RJL, Stephenson GR, Hall JC (2005). A review of the effects of humidity, humectants and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 448-451.
- Rapparini G, Bucci R, Romagnoli S (2004). Verifica dei tempi di assorbimento di formulati di glifosate sottoposti a dilavamento. *Atti Giornate Fitopatologiche*, (1) pp 401-408.
- Rapparini G, Campagna G, Geminiani E (2010). Studio con test biologici della persistenza e percolazione di flazasulfuron impiegato nel diserbo preventivo della vite. *Atti Giornate Fitopatologiche 2010*, pp 521-528.
- Rapparini G, Campagna G, Geminiani E, Capella A (2008). Problematiche, attualità e prospettive delle strategie di lotta alle malerbe delle colture orticole da industria. *Notiziario sulla protezione delle piante – AIPP* 22: 83-122.
- Rapparini G, Geminiani E, Campagna G (2009). Vite e fruttiferi si diserbano sulla fila. *L'Informatore Agrario* 40: 52-59.
- Rapparini G, Passalacqua A, Bartolini D, Paci F (2000). Verifica dell'attività devitalizzante di formulati di sali di glifosate. *Atti Giornate Fitopatologiche*, (2) pp 543-550.
- Sattin M (2006). Preservare l'efficacia degli erbicidi. *L'Informatore Agrario* (Supplemento) 20: 19-21.
- Sattin M, Pignata G, Scarabel L (2008). New highly resistant grasses in specific summer cropping systems and the value of sustainable weed management. In: *5th International Weed Science Congress, Vancouver, Canada*, pp. 116.
- Sharma SD, Chandrasena N, Singh M (2003). Glyphosate-adjuvant interactions: a review of recent experiences. *Proc. 20th Asia-Pacific Weed Science conf. – Vietnam*, pp 434-442.
- Shaw WC (1982). Integrated weed management systems technology for pest management. *Weed Sci.* 30: 2-12.
- Swanton CJ, Murphy SD (1996). Weed science beyond the weeds: the role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health. *Weed Sci.* 44: 437-445.
- Swanton CJ, Weise SF (1991). Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed technology* 5: 648-656.
- Zaghi C, Caffarelli V (2007). La strategia comunitaria sui pesticidi e la proposta di direttiva sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari. *Atti Convegno SIRFI*, pp 1-10.
- Zanin G (2000). Caratteristiche ed evoluzione della flora infestante del mais. *L'Informatore Agrario* 23: 79-82.

CASO STUDIO SULLE DINAMICHE EVOLUTIVE DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE E SULLA GESTIONE INTEGRATA: IL CASO DEL MAIS

BARTOLINI D.¹, ALLEGRI A.²

¹*Terremerse Soc. Coop. – Bagnacavallo (RA)*

²*Consorzio Agrario di Ravenna (RA)*

E-mail: dbartolini@terremerse.it

Riassunto

Nelle province di Ravenna, Ferrara e Forlì-Cesena non si segnalano variazioni sostanziali dell'evoluzione della flora infestante, se non un tendenziale incremento di *Setaria* spp. e *Sorghum halepense* tra le graminacee e, in zone più limitate, una forte pressione di infestazione di *Cyperus* spp.. *Ammi majus* si conferma endemica nella pianura ravennate. La diffusione dei biodigestori ad uso energetico, che ha determinato un incremento delle superfici maidicole anche in zone non vocate, potrebbe determinare a medio periodo un cambiamento della situazione floristica. Salvo rari casi, l'avvicendamento colturale è ancora relativamente sufficiente e l'ampia disponibilità di principi attivi a differente meccanismo d'azione, escludendo i terreni organici, e la piena applicabilità dei Disciplinari di Produzione Integrata, rende agevole il controllo della maggior parte delle infestanti, con poche segnalazioni di popolazioni di malerbe resistenti. Per quanto concerne il sorgo, la mancanza di erbicidi costantemente efficaci sulle specie graminacee potrebbe determinare un aumento del potenziale di infestazione delle stesse con aumento delle problematiche di controllo nelle colture avvicendate.

Parole chiave

Mais; Biodigestori; Sorgo; Evoluzione infestanti; Resistenze.

Summary

In the provinces of Ravenna, Ferrara and Forlì-Cesena no particular warnings about weed flora, except for an increasing trend of *Setaria* spp. and *Sorghum halepense* among grass family and, in more limited area, a high infestation of *Cyperus* spp.. *Ammi majus* is confirmed to be present everywhere in the countryside of Ravenna. The spread of biodigesters, which has caused an increasing in land for corn cultivation even in unsuitable areas for maize-growing, could cause a change in weed composition in medium term. Except in rare instances, crop rotation is still quite sufficient and the wide availability of active ingredients with different mode of action, but organic soils, and the full applicability of IPM Regional Regulations make the control manageable for most of the weeds, with a few warnings about herbicide resistant weed populations. As for grain sorghum, the lack of herbicides really effective against grass weeds could produce an increase in infestation potential for grasses with a rise in management problems for the crops in rotation.

Keywords

Maize, Biodigester, Sorghum, Weed evolution, Resistance.

Inquadramento generale

Nell'esaminare le dinamiche evolutive inerenti le infestazioni che si riscontrano sulle colture del mais e del sorgo nelle aree considerate delle province di Ravenna e Ferrara occorre innanzitutto fare una prima distinzione tra i differenti tipi terreno in cui si opera. La maggior parte dei seminativi è caratterizzata da suoli normalmente dotati di sostanza organica, generalmente con un medio o medio-ridotto contenuto di argilla e con un elevato contenuto di limo, mentre nelle aree del settore litoraneo di entrambe le province si riscontrano suoli fortemente sabbiosi. Una limitata area, che però risulta estremamente vocata alla coltivazione del mais, è caratterizzata da terreni ricchi di sostanza organica. Anche in relazione alla maggiore disponibilità di acqua, nella provincia di Ferrara le coltivazioni di mais sono generalmente irrigue, mentre nel ravennate molto più diffusi sono i seminativi in asciutta, con tuttavia un incremento delle aree dotate di impianti di irrigazione con manichetta.

Le superfici maidicole sono in tendenziale aumento (Figura 1), con particolare riferimento alla provincia di Ravenna, in seguito alla proliferazione dei biodigestori per la produzione di energia. Di conseguenza sono diventate più frequenti rotazioni molto strette, con alcune situazioni di monosuccessione, in particolare nelle aree limitrofe a tali impianti.

Le semine sono generalmente effettuate in epoca relativamente precoce, ma raramente prima della fine del mese di marzo, con un posticipo di tali operazioni nella provincia di Ravenna e nei terreni più sciolti delle zone litoranee, tendenzialmente più freddi degli altri tipi di suolo.

Per quanto concerne la composizione delle infestazioni, nei terreni normali si ritrovano le tipiche infestanti ad emergenza primaverile ed estiva, con medie presenze di *Echinochloa crus-galli*, generalmente ridotte di *Setaria* spp. e non generalizzate di *Sorghum halepense* da rizoma. Nei suoli organici ed in quelli più sabbiosi, oltre ad una maggiore presenza di *Echinochloa crus-galli*, in molte situazioni diventano prevalenti le infestazioni di *Digitaria sanguinalis*.

Per quanto riguarda le dicotiledoni annuali, in tutti i tipi di terreno la composizione dell'infestazione risulta molto influenzata dall'epoca di semina. In quelle più precoci saranno da considerare anche le specie poligonacee ad emergenza più anticipata, quali *Fallopia convolvulus* e *Polygonum aviculare*, mentre generalizzate alla maggior parte delle situazioni appaiono le emergenze più tardive di *Polygonum persicaria* e *Polygonum lapathifolium*.

Fra le specie infestanti indifferenti e macroterme ritroviamo le classiche infestazioni di *Amaranthus retroflexus* e *Solanum nigrum*, di *Chenopodium album*, di crucifere (*Rapistrum rugosum* e *Sinapis arvensis* in particolare), di ombrellifere (*Ammi majus*), e di *Abutilon theophrasti*. Nei suoli più leggeri si ritrovano frequentemente rilevanti infestazioni di *Datura stramonium* e soprattutto di *Portulaca oleracea*.

Fra le specie perenni, oltre alle già ricordate presenze di *Sorghum halepense*, tra le dicotiledoni sono da segnalare le tipiche emergenze di *Convolvulus arvensis* e *Calystegia sepium*, mentre sporadiche appaiono quelle di *Cirsium arvense*. Più problematica risulta la diffusione delle infestazioni di *Equisetum arvense*.

I terreni organici sono caratterizzati da livelli di infestazione, sia di specie graminacee che a foglia larga, notevolmente superiori ai suoli normali, con inoltre una estremizzazione della scalarità di emergenza, in particolare per quanto riguarda *Echinochloa crus-galli*, *Digitaria sanguinalis* e *Solanum nigrum*.

Per quanto concerne le strategie di controllo delle infestanti, queste variano sostanzialmente in relazione alla tipologia dei terreni. Nei suoli normali, anche in quelli estremamente sciolti, la stragrande maggioranza delle superfici maidicole sono interessate a trattamenti preventivi di pre-emergenza con erbicidi ad azione residuale, con eventuale rifinitura in post-emergenza per l'eliminazione delle emergenze di specie perenni graminacee (*Sorghum halepense*) o dicotiledoni (*Convolvulus* spp., *Calystegia* spp.) ed anche specie del genere *Equisetum*. Nei terreni organici, dove l'efficacia delle applicazioni preventive risulta alquanto limitata nel tempo, la prassi usuale è di effettuare un unico trattamento di post-emergenza, con tempistiche relativamente posticipate per ovviare alla scalarità di nascita delle specie sopra ricordate.

Per valutare le possibili variazioni della composizione floristica della coltura del mais saranno prese in considerazione le più importanti tecniche agronomiche, quali le variazioni degli ambienti di coltivazione, le rotazioni, le strategie di diserbo attuate nei differenti ambienti, la disponibilità degli erbicidi, gli indirizzi e gli obblighi definiti dalle norme tecniche dei disciplinari di produzione integrata.

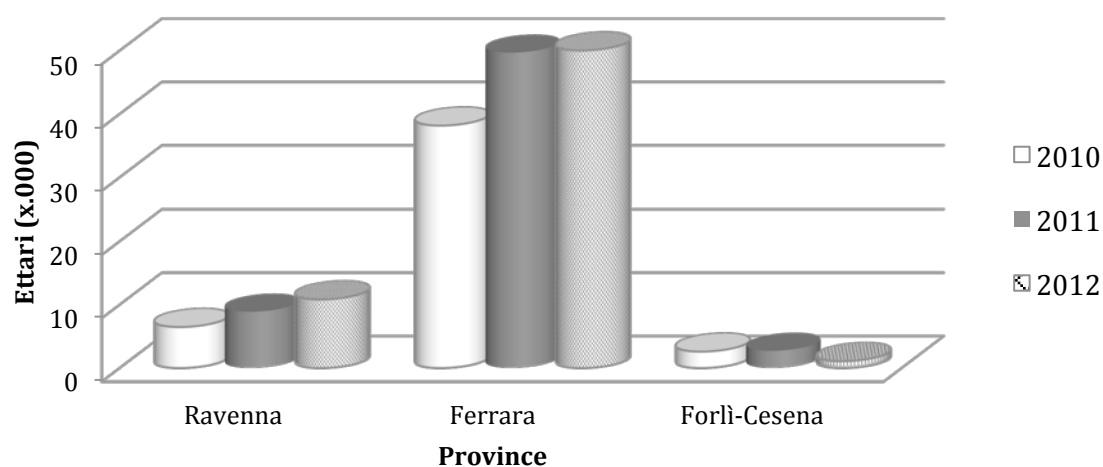


Figura 1. Superfici coltivate a mais nel triennio 2010-2012 (fonte ISTAT).

Tendenze evolutive della flora infestante del mais

In primo luogo è bene considerare che il crescente interesse per il mais anche in zone non vocate è una questione molto recente, per cui non è ancora possibile delineare esattamente i possibili scenari evolutivi delle infestazioni nei differenti ambienti di coltivazione.

Come già ricordato le superfici investite a mais hanno subito un incremento a seguito della messa in funzione degli oramai numerosissimi biodigestori per la produzione di energia. Questo aumento ha riguardato in modo particolare la provincia di Ravenna, dove rispetto al ferrarese, molto minore era l'interesse per la coltura e di conseguenza anche la conoscenza dei più razionali percorsi di coltivazione.

Da rimarcare anche la sensazione della pericolosa e preoccupante tendenza ad una minore attenzione al controllo delle infestanti, con una certa tolleranza alla presenza delle stesse, con i conseguenti effetti diretti sul potenziale produttivo quali-quantitativo e un netto incremento dei fenomeni di disseminazione. Oltre a questo vi è da segnalare un tendenziale spostamento dell'epoca di intervento dal pre al post-emergenza, anche nelle più favorevoli condizioni di attivazione degli erbicidi residuali.

Una delle conseguenze più pericolose della diffusione di questa nuova destinazione della coltura potrebbe essere un incremento del potenziale di infestazione di specie pericolose anche in ambienti dove non erano mai state segnalate. Può capitare infatti che aziende con impianti per la produzione di biogas alimentati da mais coltivato in asciutta non abbiano sufficiente materia prima e siano costrette ad acquistare trinciato proveniente da zone più o meno limitrofe senza tuttavia essere a conoscenza di come era stata gestita la coltura. Il rischio è quello di importare semi indesiderati che molto spesso non sono intaccati dai processi di fermentazione e che quindi vengono poi distribuiti nei terreni dell'azienda a seguito della distribuzione del digestato.

Al momento attuale, comunque, si registra una lenta ma progressiva ed inesorabile diffusione di *Abutilon theophrasti*, sia nei terreni organici che in quelli normali, anche non vocati, delle pianure romagnole. Questo a causa sia della mancata pulizia delle mietitrebbiatrici sia per lo spandimento di fanghi o altro materiale di scarto ricchi di semi indesiderati.

Similmente alla maggior parte delle colture, sia a semina autunnale che primaverile, in particolare nella pianura ravennate, si è consolidata la presenza di *Ammi majus*, in diffusione a causa della sua difficoltà di controllo in numerose altre colture, quali girasole, barbabietola da zucchero, cipolla e la maggior parte delle specie orticole. Nel mais i problemi di controllo iniziano già in pre-semina, essendo questa ombrellifera mediamente sensibile al glifosate. In pre-emergenza risultano parzialmente efficaci le applicazioni di isossaflutolo e di tiencarbazono-sodio, ma è nella successiva

fase di post-emergenza che si ottengono i risultati più evidenti utilizzando sulfoniluree, con particolare riferimento a prosulfuron.

Tra le specie graminacee si sta assistendo ad un sostanziale incremento delle infestazioni di alcune specie di *Setaria* spp., quali ad esempio *Setaria glauca* e *Setaria verticillata*, tuttavia sensibili sia ad applicazioni di pre che di post-emergenza.

Anche a seguito della trascuratezza delle tare aziendali, delle aree incolte e non ultimi dei bordi stradali, sono in netto aumento anche le infestazioni di *Sorghum halepense*, il cui controllo è demandato alle applicazioni di post-emergenza da effettuarsi in epoca relativamente posticipata per poter colpire anche le emergenze scalari più tardive.

La problematica più evidente è tuttavia rappresentata dalla diffusione delle ciperacee, con particolare riferimento a *Cyperus esculentus*, che infesta vaste aree torbose della Valle del Mezzano e praticamente tutta la zona litoranea ferrarese e ravennate caratterizzate da terreno estremamente sciolto. Per frenare lo sviluppo e la diffusione di questa infestante, al momento attuale non sono ancora state individuate soluzioni chimiche o agronomiche costantemente efficaci. L'unico sistema per non avere il problema è ricorrere alla semina di cereali autunno-vernini, dove non sono mai state riscontrate infestazioni preoccupanti, ma con la consapevolezza di ritrovare le piante delle malerbe ciperacee nelle colture primaverili in successione. Per quanto concerne il controllo chimico sono consigliate applicazioni preventive, meglio in pre-semina, ma anche in pre-emergenza, con miscele di s-metolaclor con un erbicida appartenente alla famiglia dei trichetoni. In post-emergenza, a volte si ottiene un temporaneo controllo con interventi a dosaggi massimi di etichetta con bentazone e, in caso di abbondante piovosità subito dopo i trattamenti, con formulati a base di mesotrione.

Rotazione

Anche questa pratica agronomica risulta influenzata dalle differenti tipologie di terreno in cui si opera. Nei suoli normali la rotazione è ancora sufficientemente tenuta in considerazione, pur con il frequente inserimento nell'avvicendamento di un cereale a semina autunno-vernina. Anche se di tratta pur sempre di cereali, in questo caso fortunatamente non si determina una pericolosa pressione di selezione sulla flora infestante, in quanto differenti sono le specie che si devono gestire durante il ciclo colturale. Nella provincia di Ferrara nella rotazione rivestono maggior importanza le colture di barbabietola da zucchero, soia e pomodoro, mentre nel ravennate prevalgono girasole, orticole, colture portaseme e, con possibili maggiori problematiche, il sorgo.

Più complicata è la situazione nei terreni organici, dove molto frequenti sono rotazioni fra mais, pomodoro ed anche soia, con l'impiego di pochissimi meccanismi d'azione per il controllo praticamente delle stesse infestanti.

A seguito della diffusione dei biodigestori si sta registrando un tendenziale raccorciamento delle rotazioni ed in alcuni casi sta prendendo piede anche la monosuccessione.

Disponibilità dei meccanismi d'azione

Nei suoli normali fortunatamente il numero di meccanismi d'azione applicabili ed attualmente utilizzati sul mais risulta più che sufficiente. Nella maggior parte dei casi il principio attivo base è la terbutilazina, caratterizzata da una costante efficacia erbicida sulla maggior parte delle infestanti dicotiledoni annuali, anche nelle condizioni applicative meno favorevoli. Questa triazina può essere utilizzata esclusivamente in miscela con preparati ad azione complementare, quali cloroacetammidi (s-metolaclor, dimetenamide-P, petoxamide), ossiacetammidi (flufenacet) per il controllo delle specie graminacee e con trichetoni (mesotrione, sulcotrione) o isossazoli (isossafutolo, clomazone) in caso di presenza di *Abutilon theophrasti*. Una possibile complicazione della situazione potrebbe essere determinata da eventuali limitazioni dell'impiego della terbutilazina, con aggravamento della gestione di tutta la gestione delle infestanti, con particolare riferimento alle poligonacee ad emergenza più precoce, quali *Fallopia convolvulus* e *Polygonum aviculare*. Altre infestanti che potrebbero incrementare la presenza sono *Portulaca oleracea*, di difficile controllo in post-emergenza ed anche *Mercurialis annua*, che nella vicina Francia è diventata una delle specie predominanti a seguito del divieto d'impiego delle triazine.

Un miglioramento della possibile situazione derivante dall'eliminazione della terbutilazina è stato determinato dalla recente introduzione del triazolone tiencarbazono-metile, che tuttavia deve essere messo ancora a punto per quanto concerne le più sicure dosi applicative in relazione alla selettività sulla coltura del mais e all'efficacia sulle specie a nascita più anticipata.

In post-emergenza, pur registrando un generalizzato impiego di sulfoniluree ad azione graminicida (nicosulfuron, rimsulfuron, foramsulfuron), nella maggior parte dei casi anche in questa epoca si tende ad utilizzare miscele più complesse, addizionando il derivato dell'acido benzoico dicamba ed anche uno dei trichetoni sopra ricordati, con possibilità inoltre di poter impiegare i classici acidi fenossialcanoici (2,4-D ed MCPA) ed anche gli inibitori della fotosintesi bromoxinil, bentazone e piridate.

Molto più difficile è la situazione che si verifica nei terreni organici, dove la limitata persistenza dei principi attivi ad azione residuale comporta la necessità di ricorrere ed esclusivi trattamenti di post-emergenza, mettendo sotto pressione in particolare l'intera famiglia delle sulfoniluree graminicide.

In relazione all'estrema scalarità di nascita ed alla scarsa propensione ad effettuare trattamenti anticipati ed eventualmente ripetuti, gli interventi erbicidi sono eseguiti quando si presume sia emersa la totalità delle malerbe e quindi sulle stesse in relativamente avanzati stadi di sviluppo.

Situazione resistenze

Al momento attuale non sono ancora segnalate problematiche particolari nelle aree maidicole dove il controllo delle infestazioni è demandato prevalentemente ai trattamenti di pre-emergenza, mentre popolazioni di *Echinochloa crus-galli* resistenti alle sulfoniluree graminicide di post-emergenza sono state accertate sia su terreno organico che nei suoli estremamente sabbiosi del litorale ferrarese a seguito di esclusiva strategia di diserbo in post-emergenza ed anche per un presumibile inquinamento delle acque di irrigazione con presenza di semi di infestanti provenienti dalle vicine aree risicole.

Tale pericolosa situazione può essere mantenuta sotto controllo nei terreni più sciolti evitando unici interventi dopo l'emergenza della coltura e ritornando, ove possibile, alle preventive applicazioni di pre-emergenza. Nei terreni organici, dove la lotta alle infestanti è demandata obbligatoriamente a trattamenti di post-emergenza, è possibile sfruttare l'azione graminicida collaterale dei trichetoni mesotrione e sulcotrione e quella più energica del più recente tembotrione, considerando inoltre la necessità di effettuare un doppio trattamento, il primo dei quali in fasi molto precoci.

Per quanto riguarda le malerbe a foglia larga in alcune aree del Ferrarese sono state accertate popolazioni di *Amaranthus* spp. resistenti a sulfoniluree ed a imidazolinoni per ora limitatamente alla coltura della soia. Questo fatto deve far mantenere alta l'attenzione anche su mais, dove diventa fondamentale continuare ad utilizzare miscele erbicide più o meno complesse, ma sempre comprendenti più meccanismi d'azione.

Disciplinari di produzione integrata

Le norme tecniche contenute nei Disciplinari di produzione integrata della regione Emilia-Romagna non pongono limitazioni particolari né per quanto riguarda la disponibilità di principi attivi (ad eccezione di bromoxinil) né per quanto riguarda le relative dosi applicative (Tabella 1).

Al di là del consiglio di effettuare i trattamenti di pre-emergenza in localizzazione alla semina, che non ha mai trovato una sufficiente applicazione, il vincolo più impegnativo risiede nell'obbligo di utilizzare formulati contenenti terbutilazina a cicli colturali alterni, con la necessità quindi di utilizzare erbicidi alternativi quando sullo stesso terreno ritorna la coltivazione del mais, a prescindere da quanti anni sono trascorsi. Tale vincolo non è previsto nei terreni con più del 2,5% di

sostanza organica, dove comunque i trattamenti di pre-emergenza raramente vengono effettuati per scarsa efficacia e/o limitata persistenza.

In questa ottica si possono delineare tre situazioni distinte:

- Mantenimento delle applicazioni preventive subito dopo la semina alternando i formulati contenenti terbutilazina con la più recente miscela di tiencarbazone-metile + isossaflutolo. In questo caso si può ipotizzare di poter giungere alla raccolta del mais con la necessità di ulteriori trattamenti erbicidi solo in caso di infestazioni di specie graminacee o dicotiledoni perenni o di specie del genere *Equisetum*.
- Impiego di formulati senza terbutilazina, che comprendono uno dei numerosi principi attivi a prevalente efficacia graminicida addizionato di mesotrione o sulcotrione, isossazoli (isossaflutolo o clomazone) ed ulteriormente rinforzati da pendimetalin o aclonifen. Tali complesse miscele, molto condizionate dall'andamento pluviometrico successivo ai trattamenti, garantiscono una sufficiente efficacia nelle semine più tardive, mentre generalmente necessitano di un completamento in post-emergenza non solo per il controllo delle infestanti perenni, ma anche di quelle a nascita più precoce, quali alcune specie poligonacee (*Fallopia convolvulus*, *Polygonum aviculare*).
- La terza e meno auspicata opzione è, negli anni in cui vi sarà l'obbligo ad escludere la terbutilazina dalla strategia di diserbo, un pericoloso spostamento dall'applicazioni di pre-emergenza a quelle di post-emergenza, con un indiscutibile aumento della pressione di selezione sulle infestanti che più di altre stanno già manifestando segni di cedimento, quali ad esempio le graminacee annuali (*Echinochloa crus-galli* in primis).

Criticità attuali

Riassumendo brevemente la situazione dell'evoluzione delle infestanti nel mais, a livello generale attualmente non vi sono problematiche insormontabili. Le popolazioni di *Echinochloa crus-galli* resistenti agli erbicidi inibitori di ALS (sulfoniluree) nei terreni sabbiosi possono essere gestite valorizzando le applicazioni di pre-emergenza utilizzando uno dei numerosi principi attivi ad azione specifica (s-metolaclor, dimetenamide-P, petoxamide, flufenacet), mentre in quelli organici diventa fondamentale evitare l'impiego di sole sulfoniluree graminicide, intervenendo possibilmente in epoca anticipata con obbligatoria addizione di un trichetone, cosa che avviene già nella pressoché totalità delle situazioni. In entrambe le situazioni un'altra arma a disposizione è l'ultimo trichetone introdotto sul mercato, il tembotrione, ovviamente evitando impieghi esclusivi e ripetuti per non

determinare un pericoloso aumento della pressione selettiva sulle infestanti graminacee annuali, attualmente ancora perfettamente sensibili.

A livello di infestanti particolari, l'unico problema reale, che interessa comunque superfici relativamente limitate, è determinato dalla presenza di alcune specie di *Cyperus* spp., con particolare riferimento a *Cyperus esculentus*, di difficile gestione sia con metodi chimici che con le più tradizionali pratiche agronomiche.

Possibili criticità future

Nel medio periodo il rischio maggiore, sempre in considerazione dell'aumento della destinazione delle coltivazioni di mais ad uso energetico, è una minore attenzione al controllo delle infestanti, con un possibile incremento degli stock di semi presente nel terreno ed un rischioso spostamento dai trattamenti di pre-emergenza ad unici interventi di post-emergenza con un conseguente aumento della pressione selettiva, in particolare sulle infestanti graminacee.

Questa variazione delle strategie di intervento è poi strettamente correlata al futuro della terbutilazina, principio attivo sempre sotto la lente di ingrandimento, ma che ancora oggi offre le maggiori garanzie di risultato nelle più svariate situazioni pedoclimatiche.

Attualmente nel mais non preoccupano eccessivamente le pur sempre più numerose popolazioni di *Amaranthus* spp. resistenti anch'esse agli inibitori di ALS (sulfoniluree ed imidazolinoni), grazie al generalizzato impiego, anche con soli interventi di post-emergenza, di complesse miscele con due o più meccanismi d'azione. Anche questo fenomeno è tuttavia da tenere in considerazione, in particolare nelle aree in cui è presumibile un incremento delle superfici destinate alla coltivazione della soia.

Per quanto concerne infine le conseguenze delle prossime normative comunitarie, saranno da valutare le variazioni sull'intera strategia di controllo delle infestanti determinate dal sicuro incremento delle minime lavorazioni dei terreni, dalla più o meno razionale gestione del "greening" e non ultima dalle ormai famigerate "buffer zone" indicate nelle etichette dei formulati commerciali, potenziali pericolosi serbatoi di semi delle più pericolose ed invasive infestanti.

Tabella 1. Mais - Norme tecniche di coltura Disciplinari di produzione integrata Regione Emilia-Romagna 2013.

Principi attivi ammessi	Principi attivi ammessi con limitazioni	Principi attivi esclusi
Glifosate	Terbutilazina ¹	Diquat
Dimetenamide-p	Isossafutolo ²	Linuron
Pendimetalin	MCPA ³	Bentazone
S-metolaclor		Bromoxinil
Petoxamide		2,4-D
Aclonifen		Amitrole
Clomazone		
Flufenacet		
Tiencarbazone-metile		
Sulcotrione		
Mesotrione		
Tembotrione		
Rimsulfuron		
Nicosulfuron		
Foramsulfuron		
Florasulam		
Fluroxipir		
Prosulfuron		
Clopiralid		
Tritosulfuron		
Tifensulfuron-metile		
Dicamba		

¹: impiegabile 1 volta ogni 2 anni in cui si coltiva il mais. Limitazione non prevista nei terreni col almeno il 2,5% di sostanza organica, dove non si effettua il pre-emergenza.

²: interventi ammessi solo nelle aziende che negli anni precedenti hanno riscontrato la presenza di *Abutilon spp.*

³: al massimo sul 10% della superficie aziendale destinata a mais.

Il sorgo

Una valutazione degli scenari attuali e futuri della coltivazione del mais non può prescindere da una breve trattazione delle problematiche inerenti la gestione delle infestanti nella meno diffusa, ma importante coltivazione del sorgo, altra graminacea a semina primaverile presente ormai in numerosi avvicendamenti. Molto diffuso in tutte e tre le province considerate (Figura 2), il sorgo è andato a volte ad erodere anche le tradizionali superfici coltivate a mais sia in relazione ai minori

costi di produzione che alle sempre più pressanti problematiche fitosanitarie (micotossine) della graminacea per eccellenza. Le varietà di sorgo destinate alla produzione di biomassa ad uso energetico non hanno ancora riscosso un grande interesse, mentre notevole successo hanno avuto le semine di secondo raccolto in successione a triticale o ai vari miscugli coltivati per alimentare i biodigestori. Anche se il sorgo presenta generalmente un'epoca di semina relativamente più posticipata, le problematiche di infestazione sono praticamente molto simili a quella del mais, con tuttavia una minore, ma sufficiente disponibilità di erbicidi per il controllo delle specie dicotiledoni e molti problemi invece per quanto riguarda la gestione delle specie graminacee annuali.

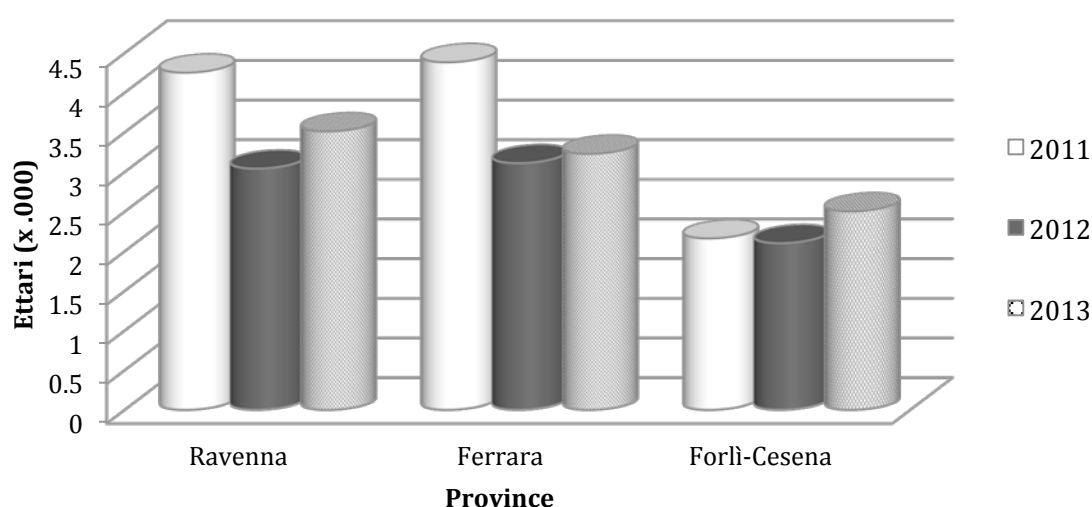


Figura 2. Superfici coltivate a sorgo triennio 2011-2013 (fonte ISTAT).

Epoca di semina e disponibilità di erbicidi

Un fattore fondamentale che va poi ad influenzare tutta la successiva gestione degli inerbimenti è l'epoca di semina del sorgo. Mancando erbicidi specifici per il controllo delle infestanti graminacee annuali, semine molto precoci vanno a complicare enormemente la generalità delle situazioni. Mantenendo pressoché inalterate le potenzialità produttive un posticipo delle stesse a partire da metà aprile e fino alla prima decade maggio permette, nella generalità dei casi, di favorire un primo azzeramento delle presenze delle specie graminacee annuali (*Echinochloa crus-galli* in particolare) con le ultime lavorazioni di affinamento dei terreni o più frequentemente con l'esecuzione di un trattamento di pre-semina con formulati a base di glifosate, che in questa coltura risultano molto più determinanti rispetto ad altre.

La recente estensione d'impiego sul sorgo della miscela di pendimetalin + terbutilazina, che si è affiancata ad aclonifen, ha alleggerito le problematiche inerenti il controllo preventivo delle

infestanti dicotiledoni, mentre la gestione delle specie graminacee è demandata unicamente ad interventi in post-emergenza precoce con la miscela di s-metolacloclor + terbutilazina. Per sortire risultati agronomicamente soddisfacenti sulle graminacee annuali (*Echinochloa crus-galli*, *Setaria* spp., *Digitaria sanguinalis*) questi interventi devono essere effettuati quando le stese si trovano in stadi di sviluppo compresi tra la 1° e la 3° foglia e comunque, per evitare indesiderabili fenomeni di fitotossicità, con piante di sorgo che abbiano già differenziato la 2° o meglio la 3° foglia vera. Questa coincidenza delle fasi fenologiche a livello pratico non è sempre riscontrabile, essendo molto condizionata dai variabili andamenti termopluviometrici. In ogni caso la finestra applicativa risulta alquanto stretta e non è stato possibile generalizzare tale strategia alla maggior parte dei seminativi, soprattutto nelle aziende meno estese che si avvalgono dell'opera dei contoterzisti.

Tendenze evolutive della flora infestante del sorgo e situazione delle resistenze

Le dinamiche evolutive delle infestanti del sorgo e le problematiche inerenti le resistenze ricalcano a grandi linee quello già descritto per la più diffusa coltura del mais. Una differenza sostanziale è tuttavia determinata dalla mancanza di erbicidi costantemente efficaci sulle specie graminacee. Nei seminativi fortemente infestati è praticamente certo assistere ad un parziale controllo delle stesse, con un potenziale e pericoloso aumento dello stock di semi nel terreno, con un aggravio della situazione nelle colture a semina primaverile inserite nell'avvicendamento. Se l'auspicabile estensione d'impiego del penoxsulam porterebbe certamente ad un alleggerimento delle problematiche per quanto riguarda *Echinochloa crus-galli*, rimangono di difficile gestione i casi di infestazione di *Setaria* spp., *Digitaria sanguinalis* e soprattutto di *Sorghum halepense*.

Fra le infestanti dicotiledoni, negli areali più orientali della pianura ravennate, anche in considerazione dell'epoca di semina più posticipata rispetto al mais, sempre più frequenti risultano le presenze dell'infestante cucurbitacea *Echballium elaterium* (cocomero asinino), sensibile comunque alla maggior parte degli erbicidi utilizzati in post-emergenza della coltura.

Disciplinari di produzione integrata

L'impiego della maggior parte degli erbicidi regolarmente autorizzati sulla coltura del sorgo è consentito anche nelle aziende che aderiscono ai Disciplinari di produzione integrata (Tabella 2). Similmente al mais non sono ammessi trattamenti con bromoxinil, ma non avendo a disposizione valide alternative, come ad esempio i trichetoni, anche con le più energiche miscele di prosulfuron + dicamba è frequente registrare una parziale efficacia su *Chenopodium* spp. e *Solanum nigrum*. Con l'attuale limitata disponibilità di principi attivi ad azione residuale, per ora non sono state ancora poste particolari limitazioni all'impiego della terbutilazina.

Criticità attuali e possibili criticità future

Come già enunciato il problema più pressante per la coltura del sorgo è la mancanza di principi attivi costantemente efficaci sulle specie graminacee annuali. In linea di massima valgono poi tutte le considerazioni esaminate nella coltura del mais, rispetto al quale ripercussioni ancor più negative avrebbe l'eventuale divieto o forte limitazione di utilizzo della terbutilazina, con un netto peggioramento delle possibilità di controllo sia delle specie dicotiledoni che soprattutto di quelle graminacee.

Tabella 2. Sorgo - Norme tecniche di coltura Disciplinari di produzione integrata Regione Emilia-Romagna 2013.

Principi attivi ammessi	Principi attivi esclusi	Possibili inserimenti
Glifosate	Diquat	Fluroxipir
Terbutilazina	Bromoxinil	
Pendimetalin	Amitrole	
S-metolaclor		
Aclonifen		
MCPA		
2,4-D		
Bentazone		

Bibliografia

Bartolini D, Campagna G (2011). *Il ruolo del diserbo in pre-emergenza nel sistema colturale del mais italiano*, 60 pp. Edizione Cooperativa Terremerse Soc. Coop.

Saglia A A, Viggiani P, Zanin G (2005). Le novità nell'evoluzione della flora infestante del mais. *Atti Convegno SIRFI "Stato attuale della coltura del mais con particolare riferimento al controllo della flora infestante"*, Bergamo, pp 43-69.

Covarelli G, Bartolini D (2005). I prodotti per il diserbo del mais. *Atti Convegno SIRFI "Stato attuale della coltura del mais con particolare riferimento al controllo della flora infestante"*, Bergamo, pp 111-142.

Ferrero A, Zanin G (2011). La gestione integrata delle malerbe (IWM): stato attuale, prospettive e problematiche applicative. *Atti Convegno SIRFI "La gestione integrata delle malerbe: un vincolo o una opportunità per una produzione economicamente e ambientalmente sostenibile?"*, Bologna, pp 18-40.

CASO STUDIO SULLE DINAMICHE EVOLUTIVE DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE E SULLA GESTIONE INTEGRATA: IL CASO DEL FRUMENTO

ALLEGRI A.¹, BARTOLINI D.²

¹ *Consorzio Agrario di Ravenna (RA)*

² *Terremense Soc. Coop. – Bagnacavallo (RA)*

E-mail: allegri@consorzioagrarioravenna.it

Riassunto

Nelle province di Ferrara, Ravenna e Forlì-Cesena *Ammi majus* è diventato da anni un'infestante chiave del frumento e si registra una lenta ma costante diffusione di *Phalaris* spp., *Sylibum marianum* e *Geranium dissectum*. La presenza di popolazioni di infestanti resistenti ad erbicidi è ancora molto bassa nonostante negli ultimi decenni si sia fatto un uso regolare e prolungato di erbicidi ACCase e ALS grazie ad un regolare avvicendamento del frumento con colture a ciclo primaverile.

Nella zona i mutamenti quali-quantitativi più importanti li sta inducendo la diffusione della semina in assenza di lavorazioni o comunque con lavorazioni estremamente ridotte favorendo alcune infestanti e modificando la dinamica temporale degli inerbimenti. Le norme previste dai Disciplinari di Produzione Integrata non hanno finora colliso con le strategie operative scelte dalle aziende agricole ma da quest'anno viene introdotta una norma molto importante che obbliga ad alternare i meccanismi d'azione degli erbicidi nei diversi anni di coltivazione del frumento.

Per l'orzo si lamenta la mancanza di graminicidi ALS selettivi mentre per il tritcale attualmente non si dispone di nessun graminicida selettivo autorizzato.

Parole chiave

Infestanti del frumento; Avvicendamenti colturali; Semina in assenza di lavorazioni; Disciplinari di produzione integrata.

Summary

In the provinces of Ferrara, Ravenna and Forlì-Cesena *Ammi majus* has been a key weed of wheat for many years and *Phalaris* spp., *Sylibum marianum* and *Geranium dissectum* are slowly but constantly spreading.

Despite in recent decades ALS Case and ALS herbicides have been used in a regular and prolonged way, the presence of weed populations resistant to herbicides is still very low thanks to a regular rotation with spring-cycle crops. In this area the sowing in conditions of no-till or minimum till caused significant changes, favoring some weeds and changing the timing of their appearance.

The norms laid down by the "Disciplinari di Produzione Integrata" have not yet collided with the operational strategies chosen by farms but from this year a very important norm has been introduced. This norm requires to alternate the modes of action of the herbicides in the various years of growing wheat.

Concerning barley there is a lack of ALS selective graminicides while for tritcale there currently is no authorized selective graminicide.

Keywords

Weeds of wheat Rotation; Sowing in conditions of no-till; "Disciplinari di produzione integrata".

Inquadramento generale

La coltivazione del frumento (tenero e duro) nella parte sud orientale della pianura padana (province di Ravenna, Ferrara e Forlì-Cesena) è da sempre molto diffusa con una relativa stabilità delle superfici coltivate.

Il frumento viene coltivato da aziende specializzate nella coltivazione di cereali/oleaginose ma anche come coltura intercalare da aziende specializzate nella coltivazione di orticole industriali e aziende specializzate in foraggiere. Anche aziende a vocazione frutticola coltivano frumento fra un ciclo e l'altro di fruttiferi.

La coltura seminata fra metà ottobre e metà novembre (salvo ritardi dovuti a maltempo) è esposta alla competizione di tutte le infestanti microterme, di alcune specie perennanti e, nel caso di semine molto tardive e/o impianti molto radi, anche di specie a nascita prettamente primaverile.

Fra le infestanti graminacee si segnalano in ordine di diffusione *Alopecurus myosuroides*, *Avena sterilis*, *Lolium multiflorum*, *Poa trivialis* e con minore diffusione i generi *Bromus* e *Phalaris*.

Fra le infestanti dicotiledoni le più rappresentative sono *Papaver rhoeas*, diverse crucifere (*Sinapis* spp., *Raphanus* spp., *Myagrum*), *Matricaria chamomilla*, *Galium aparine*, *Veronica* spp., *Stellaria media*, *Vicia* spp., ombrellifere (*Daucus* spp., *Ammi* spp., *Scandix* spp., *Bifora* spp.) e *Fumaria officinalis*.

Fra le specie perenni si osserva una certa diffusione di *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis* e *Equisetum* spp. specialmente in terreni coltivati in passato a vigneto/frutteto.

Se a fine inverno la coltura non ha coperto il suolo (semine molto tardive, impianti radi) è frequentemente infestata anche da poligonacee (*Fallopia convolvulus*, *Poligonum aviculare*) e a volte anche da *Chenopodium album*.

L'orientamento generale è quello di diserbare la coltura con un unico intervento erbicida realizzato in post-emergenza della coltura fra le fasi fenologiche di fine accestimento (fine febbraio) e secondo nodo in levata (aprile).

In questo lavoro si intendono analizzare le tendenze evolutive della flora infestante, gli effetti delle rotazioni colturali, dei metodi di lavorazione del terreno e gli effetti indotti dall'uso prolungato degli erbicidi utilizzati negli ultimi anni.

Si esamineranno anche i limiti operativi dei nuovi Disciplinari di Produzione Integrata, le criticità attuali e le possibili criticità future nonché il caso di altri cereali a paglia.

Tendenze evolutive della flora infestante del frumento

L'accorpamento delle superficie aziendali in appezzamenti di ampie dimensioni dove il drenaggio tubolare sotterraneo ha sostituito la fitta rete di scoline ha avuto effetti molto positivi sulla gestione delle infestanti del frumento. Molte delle più pericolose infestanti quali *Avena* spp. e *Galium* spp. si diffondono a partire dai fossi, la cui gestione degli inerbimenti è molto difficile e onerosa. Eliminandoli quasi totalmente la diffusione delle infestanti è drasticamente ridotta.

Molto spesso in campi drenati da anni è sufficiente trattare solo le fasce perimetrali degli appezzamenti per avere un soddisfacente controllo delle infestanti del frumento.

Per quanto riguarda le infestanti in espansione si prende atto che ormai *Ammi majus* è da considerarsi un'infestante tipica del frumento in Romagna avendo superato come diffusione ombrellifere “storiche” come quelle dei generi *Daucus*, *Scandix* e *Bifora*. La diffusione della specie va fatta risalire a circa 20 anni fa: dapprima nei campi di girasole poi bietola, cipolla e altre sarchiate. *Ammi majus* emerge sia in primavera che in autunno. Il picco di nascita autunnale è quello che infesta normalmente il frumento tuttavia, se la coltura non copre perfettamente il terreno, anche emergenze primaverili possono produrre culmi che andranno a sovrastare la coltura prima della raccolta. Fortunatamente *Ammi majus* risulta sensibile alla maggior parte dei dicotiledonici utilizzati su frumento e il controllo di questa ombrellifera non ha particolari criticità.

Non ancora così diffuso ma in costante aumento è la presenza di *Silybum marianum* (cardo mariano). Questa specie da sempre diffusa nei terreni torbosi delle bonifiche del Mezzano (FE) è ormai comune anche lungo la costa adriatica e la si ritrova sempre più facilmente anche nell'entroterra.

I programmi standard per il controllo delle dicotiledoni (sulfoniluree-triazolo pirimidine) non sono sufficientemente attivi nei confronti di queste specie che richiederebbe anche l'uso di composti ormonici per cui, fino a che non si adottano strategie di intervento adeguate, la specie continua a diffondersi.

Altre specie in lento ma costante aumento sono *Phalaris* spp. (in particolare la specie *P. pharadoxa*) e *Geranium dissectum*. *Phalaris* spp. fino a qualche anno fa era segnalata nella zona sud della provincia di Ravenna mentre ora si può rinvenire anche ad ovest. La diffusione di questa specie è riconducibile anche all'uso continuato e ripetuto di clodinafop che, sebbene attivo, non assicura sempre risultati completi su questa infestante. Dove si è preso atto della problematica, la sostituzione di clodinafop con le miscele mesosulfuron+iodosulfuron o clodinafop+pinoxaden ha garantito ottimi risultati.

La crescente presenza di *Geranium dissectum* è legata alla diffusione della semina su sodo in particolare dopo medica ma anche al diffuso impiego di iodosulfuron+fenaxaprop e mesosulfuron+iodosulfuron, poco attivi su questa specie.

Altre infestanti vengono rilevate nei frumenti con maggior frequenza rispetto al passato a seguito delle mutate tecniche agronomiche. Fra le specie annuali è il caso di *Picris echinoides* e di *Bromus* spp., specie molto favorite dalla semina su sodo. Fra le specie perennanti è il caso di *Convolvulus arvensis* e *Equisetum* spp. favorite sia dalla semina su sodo del frumento che dalla riduzione delle arature nell'ambito della rotazione colturale.

Avvicendamenti culturali

Il frumento è di norma avvicendato con altre colture: come si può evincere dai grafici riportati in figura 1, figura 2 e figura 3 (dati ISTAT 2012) la superficie di seminativo coltivata a cereali a paglia nelle province considerate è compresa fra il 30 e il 40 % del totale.

Le % maggiori di investimento a frumento le si ritrovano nelle province FC e RA che hanno molta superficie collinare.

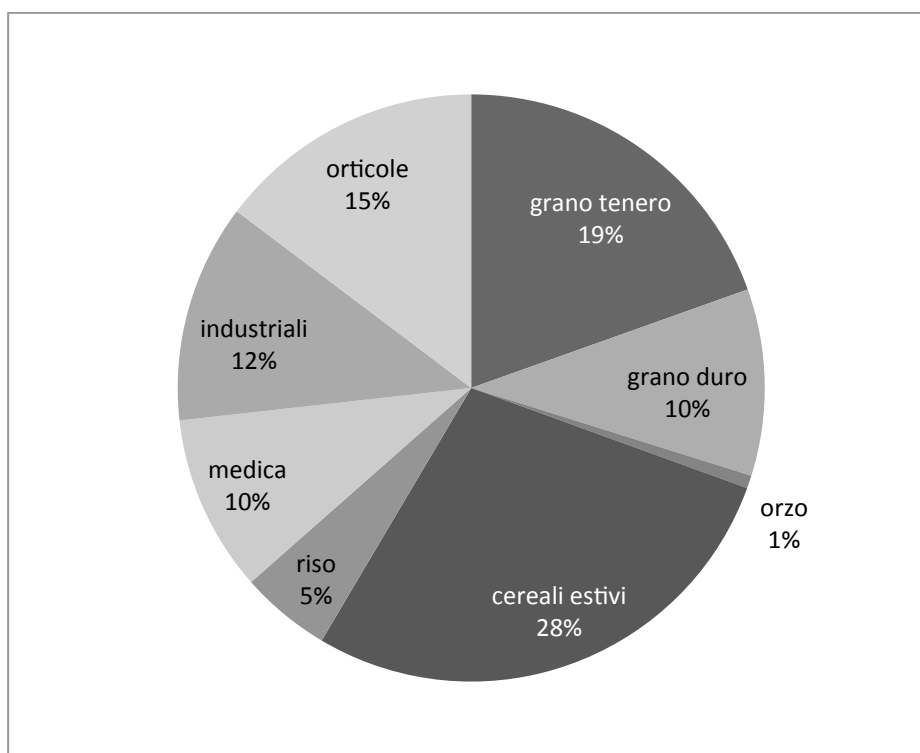


Figura 1. Ripartizione % superfici a seminativo Ferrara (tot. 156308 ha) - 2012.

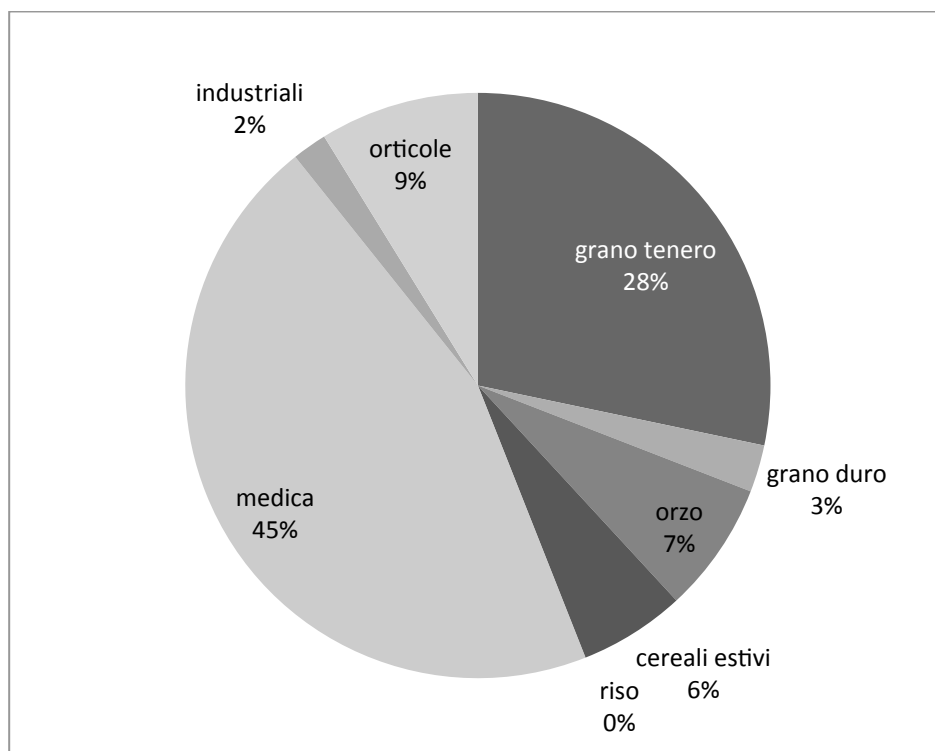


Figura 2. Ripartizione % superfici a seminativo Forlì-Cesena (tot 44186 ha) - 2012.

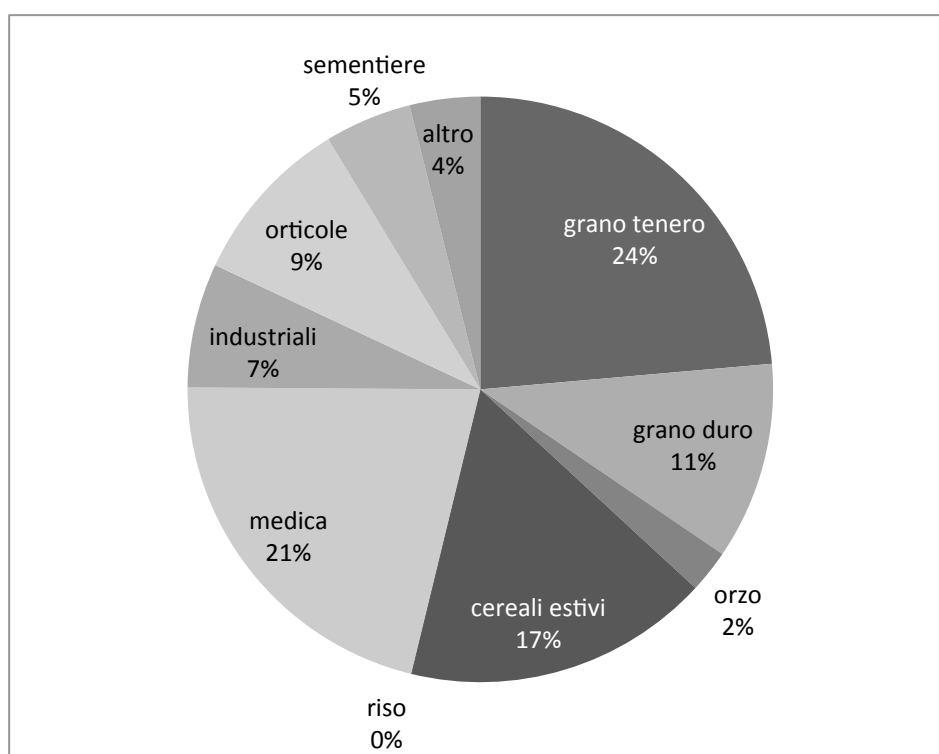


Figura 3. Ripartizione % superfici a seminativo Ravenna (tot. 69217 ha) - 2012.

La monosuccessione a grano non è di fatto praticata nelle zone di pianura: solo in ristrette zone marginali capita di trovare orzo in ristoppio. Già questo primo elemento riduce sensibilmente il rischio di selezionare popolazioni di infestanti resistenti agli erbicidi.

Ulteriore elemento a favore nella strategia anti-resistenza è dato dal fatto che di norma le colture avvicendate al frumento sono a semina primaverile e pertanto interagiscono con infestanti diverse.

Nella zona non si è molto diffusa la coltivazione di colza autunnale così come in passato non è stata adottata la coltivazione del pisello proteico a semina autunnale.

Le superfici a colza (anno 2012) variano dai 251 ha della provincia di Ferrara ai 150 ha circa delle province di Ravenna e Forlì-Cesena. A questi vanno aggiunti anche qualche centinaio di ettari coltivati con cicorie porta-seme e carota da seme nella pianura o favino negli ambienti pedecollinari.

Pertanto se ne può concludere che negli ultimi anni non vi sono stati cambiamenti negli avvicendamenti colturali tali da modificare la flora infestante del frumento e/o favorire la comparsa di popolazioni resistenti agli erbicidi.

A seguito del crollo della bieticoltura è aumentata la rotazione frumento-cereali estivi con pesanti ripercussioni di carattere sanitario (micotossine) ma senza effetti sulle infestanti.

Metodi di lavorazione del terreno

La semina del frumento in assenza di lavorazioni o comunque con lavorazioni estremamente ridotte rappresenta una pratica agronomica che può indurre nelle popolazioni infestanti mutamenti qualitativi molto importanti (Ferrero e Zanin, 2011).

La semina del frumento in assenza di lavorazioni sfavorisce infestanti quali *Papaver* spp., *Galium* spp., *Sinapis* ma favorisce un significativo aumento di altre infestanti fra cui le composite (in particolare negli ambienti romagnoli *Picris echinoides*) e le infestanti graminacee quali *Lolium multiflorum* e *Bromus* spp. (Campagna et al., 2011).

Non lavorando il terreno, tutti i semi in superficie emergono in massa non appena si presentano le condizioni ambientali favorevoli. Queste condizioni si possono avere già prima della semina in presenza di sufficiente umidità ma se le piogge si verificano solo dopo la semina le infestanti emergeranno contemporaneamente al frumento dando luogo ad infestazioni potenzialmente molto aggressive (Casagrandi et al., 2001).

La coltura che precede il frumento determina il livello di rischio degli inerbimenti in funzione delle disseminazioni che può aver generato, del periodo che intercorre dalla raccolta alla semina del frumento e dall'azione pacciamante dei residui colturali.

Dopo mais da granella o sorgo la pacciamatura dei residui colturali ritarda sensibilmente l'emergenza delle infestanti dopo la raccolta. Fra la raccolta di questi cereali estivi e la semina del frumento non intercorrono più di 8 settimane per cui è da escludere che infestanti nate dopo la raccolta siano andate a seme. Mais da granella e sorgo non aumentano di norma il potenziale di infestazione dei terreni a meno che graminacee microterme non siano andate a seme nella primavera precedente o che non si sia controllato a dovere *Ammi majus*.

Nel caso del mais da trinciato o del sorgo con asportazione degli stocchi, il terreno viene liberato dalla pacciamatura in anticipo e si inerbisce più facilmente.

Bietola, girasole, pisello da industria e pomodoro lasciano il terreno non pacciamato e le infestanti emergono liberamente non appena si creano sufficienti condizioni di umidità dopo la raccolta. Tanto più la raccolta è precoce, tanto maggiore sarà il livello di inerbimento dei terreni in autunno. Dopo pisello da industria la fase di intercoltura è molto lunga, sufficiente per avere insediamento, crescita e disseminazione di infestanti.

Su bietola, girasole e pisello vi è la possibilità che vi sia stata disseminazione di graminacee microterme: la densità di infestazione primaverile può non essere stata tale da richiedere interventi con graminicidi specifici tuttavia può aver generato una disseminazione importante.

Nel caso di bietola e girasole vi è anche la concreta possibilità che vi sia stata disseminazione di *Ammi majus* e, solo nel caso di girasole, anche di composite.

Problematiche simili a quelle del pisello valgono per le colture portaseme con l'aggravante che, se la specie è in grado di superare l'inverno, il seme caduto dà origine a infestazioni molto elevate. E' il caso della bietola, della cicoria, della carota e del coriandolo destinati a produrre seme.

Molto pericolosa per la gestione delle infestanti è la precessione con colza. Oltre alla facilità che diventi essa stessa infestante, ospita le stesse malerbe del frumento, le quali sono raramente controllate a dovere anche per la mancanza di erbicidi efficaci. Ne consegue una forte disseminazione di graminacee microterme e di molte dicotiledoni quali crucifere, papavero e gallio. Raccolta a giugno-luglio, la colza lascia i terreni non coperti per oltre tre mesi dando modo a molte infestanti di andare a seme.

Rappresenta un caso molto particolare la precessione a medica. Nella maggior parte dei medicai non viene fatto un regolare controllo delle graminacee per cui i medicai a fine ciclo sono ormai dei prati polifiti con un'enorme quantità di semi accumulati negli strati superficiali.

Lolium spp., *Alopecurus* spp., *Poa* spp. e *Bromus mollis* sono le graminacee tipiche dei medicai a fine ciclo mentre *Veronica persica*, *Geranium dissectum*, *Stellaria media* e *Picris echioides* sono le infestanti dicotiledoni più diffuse. A creare i problemi maggiori sono le infestanti graminacee.

La quantità di semi accumulati negli anni è tale per cui a volte alcuni non riescono a germinare per la copertura esercitata dai primi individui emersi. Appena eliminata la copertura capita di avere una nuova emergenza di graminacee. *Bromus mollis* in particolare tende ad emergere anche dopo che si è eliminata la copertura delle altre graminacee più rapide a colonizzare lo spazio.

Se prendiamo in esame la dinamica di emergenza per la gestione delle infestanti nei terreni non lavorati, risultano fondamentali gli esiti dell'applicazione di glifosate in pre-semina (Casagrandi et al., 2001). Questo intervento ha lo scopo di eliminare i residui della coltura precedente e le infestanti presenti al momento, sia che si tratti di malerbe estive emerse già da tempo, che di infestanti a nascita autunnale che si trovano ai primi stadi vegetativi.

L'andamento meteorologico delle settimane precedenti l'applicazione di glifosate determina la percentuale di semi di infestanti germinati rispetto alla totalità della banca semi del terreno. Una buona piovosità a settembre - inizio ottobre dopo la raccolta della coltura precedente stimola l'emergenza dei semi delle infestanti presenti così da esporle al trattamento. Le infestanti graminacee microterme, *Lolium* spp., *Avena* spp. e *Bromus* spp. in particolare, sono le prime a rispondere a queste condizioni favorevoli senza particolare scalarità.

In questo contesto il trattamento con glifosate riesce ad abbattere molto efficacemente il potenziale di inerbimento a volte con risultati tali da non richiedere successivi ulteriori interventi con erbicidi selettivi nel frumento.

Diversamente nelle annate siccitose a fine-estate, inizio-autunno l'applicazione di glifosate in pre-semina agisce solo sui residui della coltura e sulle eventuali infestanti estive emerse in precedenza senza intaccare significativamente il potenziale di inerbimento delle infestanti tipiche del frumento. Questo tipo di situazione è alla base di casi di inerbimenti decisamente problematici verificatisi negli autunni 2009 e 2011 quando le piogge si sono verificate solo dopo la semina del frumento. Per questo possibile scenario la precessione medica è sicuramente quella a più alto rischio per l'enorme quantità di semi/mq coinvolti.

La mancanza di piogge utili nelle settimane precedenti alla semina è una condizione che a volte crea problemi anche nei terreni normalmente lavorati. Capita quando su terreni preparati durante la fase siccitosa viene poi a piovere ritardando la semina. L'agricoltore non ne ha la percezione ma il terreno che sembra pulito ospita plantule di infestanti già nate prima della semina del frumento. Queste trovandosi in vantaggio andranno ad esercitare una competizione iniziale sulla coltura importante. Terreni con elevato potenziale di infestazioni + mancanza di lavorazioni + semine precoci su suoli siccitosi caratterizzano lo scenario a maggior rischio.

Considerando queste criticità si avrebbero sicuramente maggiori garanzie di un più regolare e intenso abbattimento della banca semi ritardando le semine ma ci si scontra con la logistica operativa.

Fra l'altro le seminatrici da sodo per il loro peso e la difficoltà di lavorare efficacemente su terreni argillosi bagnati, sono di norma impiegate nelle semine più precoci.

Inoltre manca comunque una diffusa conoscenza di questi aspetti: l'esito delle applicazioni di glifosate viene verificato dal solo disseccamento dei residui della coltura e solo molto raramente si valutano anche gli effetti sull'abbattimento delle infestanti autunnali nelle prime fasi della coltura quando si potrebbero correggere situazioni critiche con interventi di post-emergenza precoce.

Nella maggioranza dei casi si prende atto di un inerbimento critico solo a fine inverno quando le infestanti sono in fase vegetativa avanzata e hanno già esercitato una significativa azione competitiva sulla coltura.

La semina su sodo del frumento programmata dopo colture a raccolta precoce pone anche la questione di una corretta gestione della fase di intercoltura per evitare disseminazioni che alimentino la banca semi del terreno. L'assenza di lavorazioni prima della semina del frumento favorisce anche le specie perennanti e se anche nelle altre colture della rotazione non si effettuano arature la diffusione di vilucchio ed equiseti in alcuni terreni può creare problemi per la trebbiatura.

Effetti indotti dall'uso degli erbicidi utilizzati negli ultimi anni

Negli ultimi 20-25 anni il frumento è stato diserbato prevalentemente con interventi di post-emergenza. Questo orientamento è stato favorito a suo tempo da elementi di carattere tecnico e da aspetti normativi. Fra i primi si ricorda la diffusione (dopo decenni di diserbo di pre-emergenza) di specie di difficile controllo in pre-emergenza (quali *Avena* spp., *Galium* spp. e ombrellifere), la disponibilità di graminicidi selettivi molto efficaci e la disponibilità di dicotiledonici a largo spettro d'azione molto selettivi ed economici (sulfoniluree).

In quegli anni si diffusero nel mondo della produzione anche i disciplinari di lotta integrata (DPI) lanciati dal Reg-Cee-2078. Da allora i DPI sono un riferimento per tutte le successive misure pubbliche di sostegno alle aziende e per tutti i disciplinari di coltivazione per l'industria molitoria.

Attualmente gli ettari diserbati in pre-emergenza sono veramente pochi anche per la ridotta disponibilità di prodotti. Molte molecole del passato (trifluralin, linuron) non sono più disponibili e solo ultimamente vi è l'offerta di nuove soluzioni quali diflufenican+ clortoluron e, da quest'anno, triallate.

Negli ultimi due decenni i programmi di diserbo del frumento hanno visto un diffuso utilizzo di erbicidi ALS (inibizione dell'enzima aceto lattato sintetasi, classificazione HRAC: gruppo B) per il

controllo delle dicotiledoni e di erbicidi ACCase (inibitori dell'Acetil-CoA carbossilasi, classificazione HRAC: gruppo A) per il controllo delle graminacee infestanti. Più recentemente si sono diffuse anche molecole ALS graminicide/dicotiledonici (iodosulfuron, mesosulfuron, penoxsulam).

Nonostante l'uso continuativo di erbicidi con lo stesso meccanismo d'azione la diffusione di popolazioni di infestanti resistenti è fortunatamente ancora bassa. A tutt'oggi i casi accertati riguardano popolazioni di avena resistenti/tolleranti a erbicidi ACCase.

Il fenomeno ha una diffusione a macchia di leopardo, confinata all'interno di singole aziende anche molto distanti fra loro. La storia di queste aziende riporta un uso ripetuto negli anni, nelle coltivazioni di frumento, di clodinafop, impiegato spesso a dosi inferiori rispetto a quelle previste dall'etichetta del prodotto. Queste popolazioni mostrano fortunatamente piena sensibilità ad erbicidi ALS. A tutt'oggi non vi sono casi accertati di popolazioni di avena resistenti sia a erbicidi ACCasi che a erbicidi ALS.

Non vi sono popolazioni di *Lolium* spp. infestanti il frumento con resistenza accertata ai graminicidi selettivi nell'areale considerato. Va considerato che in questo areale *Lolium* spp. non presenta la stessa fitness che mostra nelle regioni del centro Italia. Solo le emergenze più precoci di *Lolium* spp. riescono ad originare infestazioni nel frumento, le emergenze più tardive di norma non superano i rigori invernali. Ne consegue che lavorando i terreni prima della semina o riuscendo ad effettuare una efficace bonifica dei terreni in pre-semina il potenziale di questa infestante è drasticamente ridotto. Tanto più tardiva è la semina del frumento tanto minore sarà il rischio di infestazioni di specie del genere *Lolium*.

Lolium spp. nella parte orientale dell'Emilia Romagna colonizza terreni sodivi quali medicaie e frutteti e rappresenta una seria minaccia per il frumento in immediata successione, ma solo con molta difficoltà riesce a diffondersi in terreni regolarmente lavorati. Ciò nonostante in alcune aziende l'uso ripetuto negli anni di graminicidi ACCase, non sufficientemente attivi, aveva causato per effetto della selezione un aumento della frequenza di *Lolium* spp. nei frumenti. In seguito alla diffusione di erbicidi più attivi (iodosulfuron, pinoxaden, mesosulfuron, penoxsulam) è stata fermata questa tendenza evolutiva.

La problematica del *Lolium* spp. resistente ha tuttavia destato non poche preoccupazioni in Romagna. Negli anni 2010 e 2011 si è accertata una presenza piuttosto diffusa di popolazioni di *Lolium* spp. resistenti a quizalofop nei medicaie e vi era il timore che la problematica si riversasse nel frumento in successione. Fortunatamente questo non si è verificato grazie alla completa distruzione delle popolazioni in questione tramite aratura dei terreni o bonifiche con glifosate dei

terreni in pre-semina favorite da una buona piovosità nelle settimane precedenti. Interventi in post emergenza della coltura con graminicidi ALS hanno completato il controllo di queste popolazioni. Relativamente alle infestanti dicotiledoni del frumento non si è a conoscenza di popolazioni con accertata resistenza a erbicidi ma il caso di *Papaver* spp. merita qualche considerazione. Da circa due decenni il controllo di questa specie è affidato a sulfoniluree/triazolo pirimidine e anno dopo anno si nota un sempre maggior numero di individui che emettono ricacci fertili. Il fenomeno è particolarmente apprezzabile nei frumenti poco competitivi.

Questo si verifica nonostante che negli anni siano progressivamente stati elevati i dosaggi applicati. Prendiamo il caso di tribenuron-methile: negli anni '90 veniva commercializzata una formulazione al 75% di sostanza attiva (sa). Una confezione di 10 g/ha (7.5 g/ha di sa) assicurava di norma il completo controllo di *Papaver rhoeas*. Si è poi passati ad una formulazione al 50% di sa usata a 20-30 g/ha (10-15 g sa/ha) e ora si usa una miscela di tribenuron 25% + thifensulfuron 25% a 40-50 g/ha (10-12.5 g sa/ha di tribenuron + 10-12.5 g sa/ha di tifensulfuron). Il calo di sensibilità dell'infestante è evidente.

Limiti operativi imposti dai Disciplinari di Produzione Integrata (DPI)

Le possibilità operative contemplate dai DPI della Regione Emilia-Romagna non sono state troppo distanti dai percorsi tecnici scelti dalle aziende non inserite in misure agro ambientali. Gli interventi di pre-emergenza non previsti dai DPI sono comunque una scelta tecnica attualmente poco diffusa. Fino al 2013 i limiti più avvertiti dei DPI erano la mancata disponibilità di dicotiledonici di complemento quali ioxinil e bromoxinil da usare in associazione con sulfoniluree e la mancata disponibilità di 2,4-D per interventi tardivi sulle infestanti perenni.

Dal 2013 negli obiettivi dei DPI entrano misure per la prevenzione e la gestione della resistenza delle infestanti agli erbicidi

Tabella 1. Norme tecniche del DPI regione Emilia-Romagna.

INFESTANTE		SOSTANZE ATTIVE	l. o Kg / ha	NOTE
G e D		Glifosate	1.5 - 3.0	
D		Diflufenican Bifenox	0,3 - 0,35 1 - 2	
D		Fluroxipyr (Clopiralid + MCPA + Fluroxipyr) (Clopiralid + MCPA + Fluroxipyr)	0.8 - 1.0 3 4	
D	ALS	Tifensulfuron-methyle Metsulfuron metile Tribenuron-metile Triasulfuron Florasulam Amidosulfuron Tribenuron-metile + MCPP-P Tritosulfuron	0,050 - 0,080 0.015 - 0.020 0.015 - 0,0225 0,037 0,1 - 0,125 0,02 - 0,04 1,090 0,05	
D con G	ALS +	(Iodosulfuron+Fenoxaprop-p-etile + Mefenpir-dietile)	1,25	
	ACCasi	(Clodinafop + Pinoxaden + Florasulam)	0,67 - 1	
D e G	ALS (1)	(Propoxycarbazone-sodium + Iodosulfuron- methyl- sodium + Amydosulfuron + Mefenpyr diethyl) (5)	0,400	(1) (2) Nei diversi anni obbligatorio alternare sullo stesso appezzamento l'impiego dei prodotti con i due meccanismi d'azione ALS e ACCasi. Norma da applicare a partire dalla campagna 2013 - 2014 Campagna 2012-2013 anno 0.
		(Propoxycarbazone-sodium + Iodosulfuron- methyl- sodium + Mefenpyr diethyl) (5)	0,333	
		(Iodosulfuron-metil sodium + Mesosulfuron metile)	0,50	
		(Iodosulfuron-metil sodium + Mesosulfuron metile)	0,30	
		(Pyroxsulam + Florasulam)	0,265	
G	ACCasi (2)	Tralkoxidim Diclofop-metile Pinoxaden Fenoxaprop-p-etile + specifico antidoto Clodinafop	1,0 2 - 2.5 1 0,6 - 1 0.25 - 0.75	
G		Chlorotoluron (3)	2,5	(3) Vincolante: sullo stesso appezzamento impiegabile al massimo una volta ogni 5 anni
D		Ioxynil (4) Bromoxynil (4)	3,5 2,5	(4) Vincolante: sullo stesso appezzamento prodotti in alternativa fra loro; impiegabile al massimo una volta ogni 5 anni

G= Graminacee; D=Dicotiledoni.

Queste nuove norme introducono la possibilità di utilizzo di ioxinil, bromoxinil e clortoluton (seppure con limitazioni) e obbligano ad alternare i meccanismi d'azione dei graminicidi selettivi. Pur con tutti i limiti e le eccezioni che si possono obiettare ad una norma rigida, va dato atto che, per la prima volta, si introduce un forte elemento di sensibilizzazione sulla problematica della selezione di popolazioni di infestanti resistenti agli erbicidi. Un approccio più efficace dovrebbe tener conto anche del tipo di infestazione, dell'accertata presenza o meno di popolazioni resistenti e comprendere anche misure agronomiche (epoca di semina, epoca di intervento ecc.).

Ipotizziamo una casistica: in presenza di un campo particolarmente infestato da avena già sviluppata perché il maltempo ha precedentemente impedito l'ingresso in campo. L'esperienza consiglierebbe l'uso di un graminicida ACCase, a meno di resistenza accertata. Questo indipendentemente dall'erbicida utilizzato nella precedente coltivazione di frumento.

Perlomeno a nostro giudizio la norma dell'alternanza dei meccanismi d'azione dei graminicidi dovrebbe essere integrata considerando anche le rotazioni.

Se il frumento è avvicendato con colture primaverili ha senso considerare l'alternanza dei meccanismi di azione degli erbicidi graminicidi fra gli anni a frumento ma se il frumento segue una coltura a semina autunnale (es. colza) diserbata con un graminicida selettivo si dovrebbe considerare questa come riferimento.

Trattandosi comunque di una norma appena approvata è difficile valutarne l'impatto sulle aziende agricole.

Conclusioni

Criticità attuali

Gli inerbimenti del frumento in Romagna sono ancora ben gestibili. Vi è la presenza accertata di focolai con popolazioni di avena ACCase resistenti ma con un'attenta gestione possono essere gestiti non solo alternando i meccanismi di azione ma puntando molto anche sulle rotazioni, tecnica della falsa semina e epoca di semina del frumento.

Sicuramente il controllo delle dicotiledoni perennanti è di fatto non praticabile su frumento con gli attuali tempi di carenza dei composti ormonici ma si può implementare una strategia di eradicazione sulle stoppie utilizzando anche amino triazolo per devitalizzare l'equiseto.

In sostanza se il frumento continuerà ad essere avvicendato con colture primaverili si può ipotizzare che, implementando tutte le strategie di gestione più efficaci, se ne possano gestire in modo soddisfacente gli inerbimenti con un unico intervento erbicida come si è fatto negli ultimi anni.

Diversamente se l'avvicendamento prevalente dovesse diventare quello con colture a semina autunnale (diserbate anch'esse in prevalenza con erbicidi ACCasi e ALS) la situazione potrebbe

precipitare rapidamente per la diffusione di popolazioni di graminacee, crucifere e papavero resistenti o perlomeno con ridotta sensibilità.

In quel caso oltre ad attuare tutte le pratiche agronomiche utili si imporrebbe la necessità di implementare programmi di diserbo più articolati con interventi di pre/post-emergenza precoce completati poi in post-emergenza più tardiva.

Possibili criticità future

Da qualche tempo diverse società sementiere lavorano per introdurre la coltivazione del frumento ibrido. Dal punto di vista della lotta alle malerbe questo comporta problemi non trascurabili.

La semina viene effettuata con un ridotto numero di semi/mq puntando sull'accestimento successivo. Ne consegue che la coltura copre il terreno molto più tardi rispetto alla coltivazione tradizionale esponendosi all'emergenza di un maggior numero di infestanti. Inoltre al momento dei trattamenti di post-emergenza la coltura esercita una ridotta competizione sulle infestanti compromettendo l'attività di molti erbicidi (ALS in particolare).

Relativamente agli effetti della prossima normativa agricola, si ipotizza che le tecniche conservative della fertilità dei suoli verranno ulteriormente incentivate favorendo semine in assenza di lavorazioni o comunque con lavorazioni molto ridotte.

Di qui la necessità di accrescere la formazione degli operatori sui concetti dell'Integrated Management System (IWMS) (Masin et al., 2007) in particolare sulle dinamiche dello sviluppo delle infestanti sui terreni non lavorati e sulle strategie operative di contrasto da implementare.

Se non si diffonderanno pratiche agronomiche alternative il controllo delle infestanti sarà inevitabilmente sempre più affidato a devitalizzanti chimici fogliari con tutti i rischi connessi. Altro aspetto che potrà alimentare criticità nel prossimo futuro sarà la gestione delle fasce tampone (buffer zone) per evitare che, abbandonate a se stesse, diventino dei pericolosi serbatoi di disseminazione.

Il caso degli altri cereali a paglia

Orzo

Su questa coltura non si ha la disponibilità di graminicidi ALS. Viene quindi a mancare la possibilità di controllare *Bromus* spp. e, in caso di popolazioni di *Avena* spp. ACCase resistenti, non vi è la possibilità di alternare i meccanismi di azione. A tutt'oggi però non sono segnalate problematiche legate a questi aspetti.

Triticale

Per alimentare i biodigestori anaerobici presenti nel territorio si sta diffondendo la coltivazione di triticale. Diversamente da altri paesi europei, la disponibilità in Italia di erbicidi registrati su questa coltura è minima. Solo alcuni dicotiledonici prevedono questo impiego in etichetta e non c'è nessun graminicida disponibile. Va anche detto che attualmente l'interesse degli operatori per la gestione delle infestanti su questa coltura è inesistente.

Trinciando la coltura a maturazione cerosa, la possibilità di disseminazione delle infestanti presenti è ridotta ma le specie più precoci (quali alopecuro per le graminacee o fumaria per le dicotiledoni) hanno già prodotto semi maturi. Se la coltura entrerà stabilmente nelle rotazioni aziendali, si presume si imponga la necessità di un pur minimo controllo delle infestanti in particolare delle infestazioni più precoci che possono compromettere la densità colturale.

Nel caso in cui il triticale venga coltivato in miscugli con loietto e leguminose non esistono possibilità di un efficace diserbo chimico.

Bibliografia

Ferrero A, Zanin G (2011). La gestione integrata delle malerbe (IWM): stato attuale, problematiche applicative. *Atti del Convegno SIRFI "La gestione integrata delle malerbe: un vincolo o una opportunità per una produzione economicamente e ambientalmente sostenibile?"*, Bologna, pp 19-37.

Campagna G, Meriggi P, Rapparini G (2011): Il contributo del diserbo chimico nella gestione integrata delle malerbe. *Atti del Convegno SIRFI "La gestione integrata delle malerbe: un vincolo o una opportunità per una produzione economicamente e ambientalmente sostenibile?"*, Bologna, pp 41-102.

Casagrandi M, Allegri A, Marzocchi L (2001). *Diserbo, Strategie operative*, Edagricole.

Masin R, Otto S, Zanin G (2007). Il ruolo della gestione agronomica nella lotta alle malerbe. *Atti del Convegno SIRFI "Uso sostenibile degli agrofarmaci: la nuova direttiva comunitaria, problematiche applicative e ruolo della ricerca"*, Bologna, pp 73-90.

CASO STUDIO SULLE DINAMICHE EVOLUTIVE DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE E SULLA GESTIONE INTEGRATA: IL CASO DELLA *PHELIPANCHE RAMOSA* (L.) POMEL NEL POMODORO DA INDUSTRIA NELLA CAPITANATA

MONTEMURRO P., FRACCHIOLLA M.

*Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e Territoriali
Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"
E-mail: pasquale.montemurro@uniba.it*

Riassunto

Nella Capitanata (FG) si è grandemente diffusa la *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel, una pianta fanerogama oloparassita. Nel lavoro viene analizzata la dinamica evolutiva dell'infestazione, sottolineando le cause che ne hanno provocato una così elevata propagazione. Sono indicate le poche metodologie utilizzabili, che sono allo stato attuale essenzialmente preventive, atte ad evitare una sua espansione in aree non ancora infestate, e riduttive della disseminazione e della *seed bank*, nei terreni in cui è già presente. Tali metodologie potrebbero risultare utili ai fini di un loro inserimento nei Disciplinari di Produzione Integrata della regione Puglia, come di altre regioni. Sulla base di alcuni approcci riguardanti metodi di controllo di diverso tipo riportati nella letteratura, è stata ipotizzata la possibilità di prospettare delle strategie di controllo integrato della parassita, da realizzare nel breve, medio e nel lungo termine.

Parole chiave

Phelipanche ramosa; Pomodoro da industria; Metodi preventivi; Lotta biologica.

Summary

Phelipanche ramosa (L.) Pomel a root-holoparasitic phanerogam, is widely spread in the area of Capitanata (Province of Foggia-Apulia Region). In this paper we analyze the dynamics of the increasing infestation, highlighting its causes. The few available control techniques are described which consist mainly in prevention actions to avoid the spread in areas not yet infested and reduction of seed dissemination and seed bank in fields where the plant is present. Such strategies could be included in the Integrated Crop Management Guidelines of the Apulia Region as of other Regions. Based on different control techniques reported in literature, the paper suggests Integrated Control strategies of this parasite plant that can be undertaken in the short, medium and long period.

Keywords

Phelipanche ramosa, Tomato, Preventive methods, Biological control.

Inquadramento generale

Avendo avuto inizio negli anni '60, la coltura del pomodoro da industria viene praticata da oltre un cinquantennio nella Capitanata (la provincia di Foggia), in cui si è estesa per le favorevoli condizioni edafiche, ambientali e fitosanitarie e grazie all'aumento della disponibilità idrica determinata dal fatto di essere entrata a far parte di un comprensorio di nuova irrigazione. La coltivazione del pomodoro interessa all'incirca il 50% della Piana del Tavoliere delle Puglie, che si sviluppa dal fiume Ofanto al lago di Lesina, ed è concentrata nella zona bassa del Tavoliere stesso, la cui morfologia è prevalentemente pianeggiante nella piana di Foggia, per diventare sub-pianeggiante (massimo 400 m s.l.m.) verso sia l'Appennino Dauno sia il promontorio del Gargano. Il clima, di conseguenza, è tipicamente mediterraneo lungo la fascia adriatica, diviene maggiormente di tipo continentale nelle zone più interne, con inverni freddi e piovosi, seguiti da estati aride e siccitose; in particolare, le precipitazioni piovose, non sono molto abbondanti, in quanto si attestano in media sui 500 mm all'anno, e sono concentrate nel periodo compreso tra ottobre ed aprile. Dal punto di vista pedologico, il basso Tavoliere è caratterizzato da terreni da profondi a molto profondi, con tessitura prevalentemente argillosa-limosa, con un buon contenuto di sostanza organica, e generalmente ben drenati; inoltre, sotto l'aspetto chimico sono classificabili da calcarei a molto calcarei, con zone talvolta fortemente calcaree, con reazione decisamente alcalina.

La spiccata vocazione produttiva del territorio foggiano verso le tipologie a bacca allungata ha fatto sì che quest'area si sia specializzata in breve tempo per la produzione del pelato, al punto da interessare quasi il 60% dell'intera superficie; quest'ultima, poi, ha consentito alla provincia di Foggia di arrivare a detenere il primo posto a livello mondiale per produttività e qualità del "pelato all'italiana", diventando l'unico bacino di produzione capace di approvvigionare le industrie di trasformazione meridionali.

La superficie investita a pomodoro per l'industria, che nel 2004 assommava 26.000 ha, si è però ridotta a partire dal 2008, e nel 2012 è stata di 19.900 ha; ovviamente, anche la produzione di bacche si è ridotta dalle circa 1,66 milioni di tonnellate del 2004 a poco meno di 1,38 milioni di tonnellate del 2012 (Figura 1).

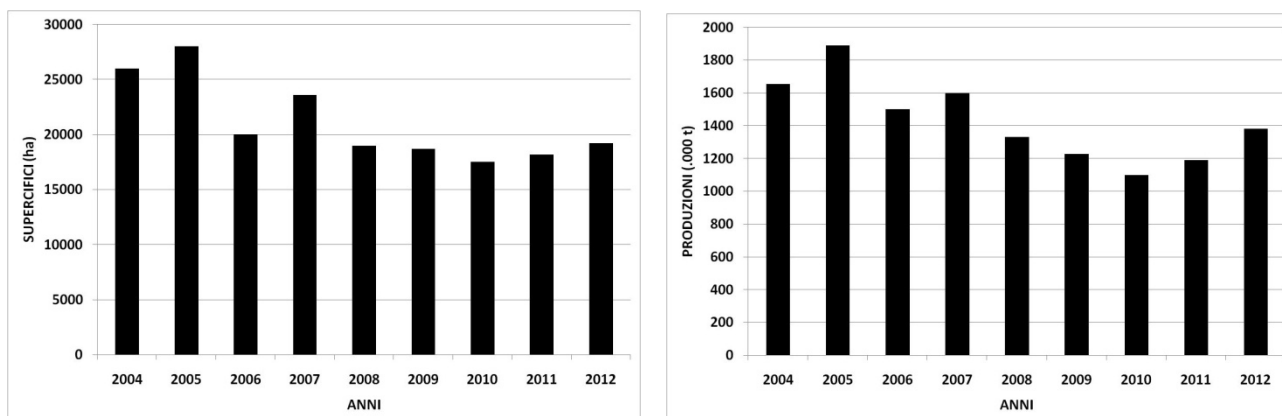


Figura 1. Superfici e produzioni del pomodoro da industria in Capitanata negli anni 2004-2012 (Fonte: Confagricoltura Foggia).

Il pomodoro della Capitanata viene coltivato da aziende che sono diventate molto specializzate nella pratiche colturali e di difesa di questa solanacea, come di altre orticole industriali come il cavolo broccolo e lo spinacio. L'impianto della coltura, attuato ormai esclusivamente tramite il trapianto di piantine fornite dai vivaisti, inizia a partire dalla metà di aprile e si prolunga fino alla fine del mese di maggio, salvo ritardi dovuti a cattive condizioni meteo.

La disposizione delle piantine in campo viene eseguita quasi esclusivamente a file binate, con distanze di 0,3-0,5 m sulla fila e tra le file delle bine ed 1,6-1,8 m tra gli assi delle bine. L'irrigazione viene praticata ricorrendo quasi dappertutto al sistema a micro portata e localizzata, a goccia ed a manichetta forata, sistema che consente di attuare la fertirrigazione, che com'è noto consente di veicolare agevolmente anche parte dei concimi.

Per quanto concerne le erbe infestanti, negli ultimi tempi si è andata specializzando una flora costituita oltre che dal *Solanum nigrum* L., onnipresente a livello dei Paesi del mediterraneo (Montemurro e Tei, 1998), anche dal *Tribulus terrestris* L., dall'*Echallium elaterium* (L.) A. Rich., dallo *Xanthium italicum* Moretti e dallo *Xanthium spinosum* L., dal *Silybum marianum* (L.) Gaertn., dalla *Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve e da *Cyperus* spp. (Montemurro, 2008; Montemurro, 2010).

Per controllare gli inerbimenti, una discreta percentuale dei coltivatori di pomodoro della Capitanata ricorre al diserbo chimico, praticato soprattutto in post-trapianto, a cui abbinano ripetute sarchiature tra e sulle file. Ma la problematica più attuale ed evidente è, invece, come previsto da Montemurro (2000) e Zonno et al. (2000), rappresentata dalla *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel, fino a qualche anno fa chiamata *Orobancha ramosa* L., una specie oloparassita (totalmente dipendente dall'ospite nell'assorbimento idrico e degli elementi nutritivi, perché non dotata né di un vero e proprio apparato radicale, né di capacità fotosintetica), denominata volgarmente "sporchia" del

pomodoro e “succiamela ramosa”. La *P. ramosa*, che è in grado di infestare non solo il pomodoro, ma anche altre solanacee, nonché diverse altre colture appartenenti ad altre famiglie botaniche (Parker e Riches, 1993), e pure delle specie infestanti (Zonno et al., 2000), sono elencate nella tabella 1; nel 2001 è stata segnalata da Fracchiolla et al. (2001) in provincia di Foggia anche sul cavolfiore e sul cavolo broccolo e da alcuni anni a questa parte anche sulle coltivazioni di camomilla e sedano.

Oltre ad essere molto invasiva, la “succiamela ramosa” è anche particolarmente dannosa. Infatti, oltre ai forti e precoci attacchi, in cui le piante di pomodoro possono addirittura morire, sono stati stimati, proprio in appezzamenti di pomodoro coltivati in due località del foggiano, decrementi quantitativi della produzione fino al 40% rispetto alla produttività ottenibile in assenza della sporchia, e riduzioni dell'indice rifrattometrico anche del 30% (Zonno et al., 2000).

Tabella 1. Principali specie coltivate ed alcune infestanti parassitizzabili da parte della *P. ramosa* (A.A. V.V.).

Nome botanico	Nome comune
<i>Allium cepa</i> L.	Cipolla
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amaranto comune
<i>Apium graveolens</i> L.	Sedano
<i>Brassica napus</i> L.	Colza
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.	Cavolfiore
<i>Brassica rapa</i> L.	Cavolo rapa
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medic.	Borsa del pastore
<i>Capsicum annuum</i> L.	Peperone
<i>Cicer arietinum</i> L.	Cece
<i>Cucumis melo</i> L.	Melone
<i>Cucumis sativus</i> L.	Cetriolo
<i>Dacus carotae</i> L.	Carota
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Finocchio
<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	Pomodoro
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pallas	Meliloto comune
<i>Pisum sativum</i> L.	Pisello
<i>Rumex acetosa</i> L.	Romice acetosa
<i>Sinapis</i> spp.	Senape
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Patata
<i>Vicia faba</i> L.	Fava

Nella presente nota si è inteso innanzitutto analizzare la dinamica evolutiva, evidenziando le motivazioni che hanno portato tale parassita a diffondersi in modo particolare nell'areale foggiano con una progressione che negli ultimi tre-quattro anni è stata particolarmente veloce, arrivando ad interessare una superficie che è stata stimata essere pari a qualche migliaio di ettari. Sono, quindi,

state prese in considerazione le poche metodologie utilizzabili per il contenimento della “sporchia” del pomodoro, che sono allo stato attuale essenzialmente di riduzione o almeno di contenimento, nei terreni in cui è già presente, e di tipo preventivo, cioè mirate ad evitare una sua ulteriore espansione in aree non ancora infestate; infatti, al momento non sono ancora disponibili soluzioni veramente efficaci per frenare lo sviluppo e la diffusione di questo parassita. Ancora, vengono riportati i risultati di alcune metodologie, ancora in fase di studio, con approcci di tipo chimico e biologico. Infine, vengono proposte delle metodologie già adottabili per “tamponare” la problematica nel breve tempo, insieme ad ipotesi di soluzioni “prevedibili” nel medio termine e “futuribili” nel lungo periodo.

Dinamica evolutiva

L’area mediterranea viene considerata il centro di origine della *P. ramosa*, proprio per la notevole sua diffusione in tale area (Parker e Riches, 1993). La grande espansione di questo parassita nella Capitanata, così come è avvenuto in altre parti del Mediterraneo e non solo, è dovuta ad una dinamica evolutiva legata ad alcune sue particolarità bio-ecologiche, oltre e soprattutto al fatto che sono appunto pressoché inesistenti efficienti metodi per un suo effettivo controllo. Ancora, né avvertimenti sulla problematica né indicazioni circa eventuali interventi di contenimento sono inseriti nei dettami dei Disciplinari di Produzione Integrata della regione Puglia o di altre regioni.

Principali aspetti bio-ecologici

Il potenziale di produzione dei semi è altissimo (Parker e Riches, 1993), in quanto ogni pianta di sporchia può formarne da 31.000 fino a 500.000, mentre la loro dimensione è piccolissima ($0.35 \times 0.25 \mu\text{m}$), tanto che in un grammo ve ne sono circa 150.000, con un range da 3 a 6 μg (Zimdhal, 1993). La loro vitalità nel terreno, poi, può arrivare fino a 20 anni. Date le ridotte dimensioni, la propagazione dei semi, alcuni dei quali rimangono dormienti mentre altri sono in grado di germinare immediatamente e dar vita a nuove piante, avviene molto facilmente con il vento, ma anche con le acque irrigue e mediante le macchine agricole durante la lavorazione del terreno, i trattamenti, la raccolta, ecc. Specialmente la raccolta meccanica del pomodoro, che viene eseguita tagliando le piante a livello del terreno dove sono presenti anche i fusti della sporchia, aumenta la possibilità di diffusione. Ancora, una forte potenzialità di espansione è costituita dal materiale vivaistico, in quanto nel substrato in cui sono allevate le piantine di pomodoro possono essere presenti dei semi del parassita.

Tra le ragioni dell’incremento, c’è anche quella di mancanza di indicazioni di lotta e prevenzione.

Metodi attualmente utilizzabili

Sono essenzialmente metodi preventivi, che allo stato odierno possono essere effettivamente praticabili congiuntamente dagli agricoltori e dai vivaisti. Prima di entrare nel dettaglio di ciò che possono fare gli agricoltori, è bene evidenziare come una prima azione preventiva è di certo quella che devono mettere in atto i vivaisti; questi ultimi, per evitare che i semi dell'orobanche si diffondano attraverso il materiale di propagazione, devono porre molta attenzione nella produzione delle piantine da trapiantare, pulendo accuratamente i contenitori e sterilizzando correttamente il substrato con il vapore. Per quanto concerne i coltivatori, gli obiettivi principali dei metodi preventivi sono innanzitutto quelli di impedire che i semi di tale parassita arrivino nei campi non ancora infestati e nel caso di appezzamenti già invasi, di cercare di non aumentare i livelli di infestazione, anzi di cercare di ottenere la riduzione progressiva e costante del quantitativo di semi presente del terreno. Pertanto, in pratica è consigliabile:

- a) nei campi molto infestati per la prima volta, effettuare un'aratura sufficientemente profonda, in genere di almeno 40 cm e con buon ribaltamento delle fette, tale da portare in profondità i semi di sporchia. Successivamente, però, nelle colture in successione si devono eseguire lavorazioni meno profonde, allo scopo di non riportare in superficie i semi della parassita;
- b) inserire negli avvicendamenti le *cacth crops*, le "colture trappola", cioè quelle specie di piante capaci di stimolare la germinazione dei semi di *P. ramosa*, ma senza lasciarsi poi parassitizzare; il pisello, la soia, il fagiolo, l'erba medica, il mais, il sorgo e l'aglio sono tra queste e consentono di ridurre in una certa misura la carica di semi di sporchia presente nel terreno (Linke e Saxena, 1991; Schnell et al., 1994);
- c) lavare molto bene i mezzi di lavoro ed in particolare le raccoglitrice meccaniche che hanno raccolto in campi infestati dalla sporchia, per evitare la disseminazione dei semi del parassita in appezzamenti non ancora infestati;
- d) specialmente qualora non si irrigui con metodi localizzati (a goccia), è sempre bene filtrare le acque, specialmente quelle che provengono da invasi, per eliminare eventuali semi trasportati appunto dalle acque, anche nelle colture in rotazione;
- e) anche se tardivamente, in quanto una certa parte del danno al pomodoro è già avvenuto e contemporaneamente comporta una maggiore spesa, è possibile eliminare i turioni fuoriusciti dal terreno, eseguendo la scerbatura e/o la sarchiatura, manuale in vicinanza delle piante di pomodoro e meccanica tra le file. Data la grandissima quantità di seme producibile da parte delle piante di sporchia, è sempre consigliabile eliminare i turioni, naturalmente prima che abbiano prodotto i semi e disseminato. Le piante di sporchia così eliminate, poi, è bene che siano allontanate dai campi, specie quelle staccate tardivamente, in quanto potrebbero portare comunque a buon fine la formazione dei semi e quindi disseminare.

Inutile è, invece, quando l'infestazione si è già inserita nei campi, fare affidamento su altre metodologie di tipo agronomico, come l'utilizzo dell'avvicendamento colturale, considerato la lunga vitalità dei semi, o sull'alternanza di lavorazioni del terreno a profondità diversificate.

Metodologie in fase di studio

In letteratura sono presenti i risultati di numerosi lavori che hanno affrontato la problematica della sporchia del pomodoro con approcci di tipo diverso, spaziando soprattutto tra soluzioni chimiche e biologiche, anche supportate da studi eco-fisiologici e da metodi predittivi della germinazione dei semi e dell'inizio della parassitizzazione (Eizenberg et al., 2008), denotando un interesse tanto elevato sull'argomento, quanto dannosi sono gli effetti che tale parassita determina, specialmente in alcuni Paesi del Mediterraneo.

Tra le sperimentazioni che hanno testato l'impiego degli erbicidi per il controllo chimico della *P. ramosa* nel pomodoro, c'è quella effettuata in serra da Quasem et al. (1998), il quale ha trovato che il chlorsulfuron è stato in grado di esprimere, nel confronto con oltre una decina di sostanze attive, il massimo grado di controllo del parassita con la minore fitotossicità. Ancora, il glyphosate è stato provato da Montemurro et al. (2003) e Montemurro et al. (2005) con microdosi, variabili da 18 a 54 g ha⁻¹ di s.a., applicate mediante un numero massimo di quattro interventi, eseguiti a partire da una decina di giorni dopo il trapianto e distanziando gli interventi stessi di una decina di giorni circa l'uno dall'altro. I dati hanno permesso di evidenziare un'elevata riduzione del numero dei turioni del parassita ed un'ottima selettività nei confronti delle piante sempre del pomodoro già con 3 o 4 interventi, indipendentemente dalla dose utilizzata.

Tra i tentativi di lotta biologica, c'è il tentativo di Klein et al. (2002), il quale ha provato con un approccio di tipo inondativo ad utilizzare l'insetto *Phytomyza orobanchia*, come predatore di semi; tale insetto, liberato in quantità massicce, ha mostrato di essere in grado di ridurre la carica di semi fino al 96% circa. Tuttavia, la massiccia carica di semi residua e la sua notevole longevità, rende anche questa tecnica non adatta, nel breve e medio periodo, ad abbassare l'infestazione a livelli agronomicamente ed economicamente accettabili.

Sempre con un approccio di tipo biologico, ma mediante l'impiego di funghi patogeni, Vurro et al. (2003) hanno utilizzato, tra numerosi funghi patogeni che infettano *P. ramosa* nel sud Italia, un isolato di *Fusarium oxysporium* ed uno di *Fusarium solani*, riscontrando delle buone potenzialità nel controllo dell'emergenza di turioni successiva alla parassitizzazione delle piante di pomodoro.

Tra le altre strategie ritrovate nella bibliografia, c'è anche quella che riguarda la possibilità di inibire la germinazione dei semi o lo sviluppo degli austori nelle prime fasi di crescita della

P. ramosa. Per esempio, Musa (2012) riporta la potenzialità di alcuni funghi micorrizici di perturbare le prime fasi di infezione e crescita della sporchia e, conseguentemente, di ridurre il grado di infezione. Lo stesso autore evidenzia l'effetto inibitore sulla germinazione dei semi e sullo sviluppo degli austori di estratti acquosi di *Euphorbia hirta* L. Sempre in termini di controllo biologico, Vurro et al. (2006) ha condotto prove con alcuni amminoacidi, trovando che la metionina presenta elevate capacità inibitorie della germinazione dei semi.

Altri tentativi riguardano la predisposizione di tecniche di cosiddetta “germinazione suicida”, la quale consiste nella distribuzione al terreno di sostanze in grado di stimolare la germinazione dei semi del parassita in assenza dell'ospite e la conseguente riduzione della *seed bank* (Rubiales et al., 2009).

Esistono ancora nella letteratura dei tentativi, nessuno dei quali ben riusciti, su ricerche atte ad individuare delle varietà resistenti (Sobrino-Vesperinas, 1985) o a costituirle attraverso incroci (Pustovoit, 1976; Cubero, 1991) oppure mediante metodi transgenici (Batcvarova et al., 1998).

Vi sono pure risultati soddisfacenti di ricerche concernenti la solarizzazione (Sahile, 2005) e la fumigazione, ma non sono stati riportati, in quanto non sono assolutamente proponibili per il pomodoro da industria.

Conclusioni

In conclusione, ribadendo che nell'immediato non esistono metodi veramente efficienti praticabili e considerando l'elevata capacità di diffusione e la persistente vitalità dei semi della “succiamela ramosa”, qui di seguito vengono proposte delle ipotesi di soluzioni, secondo un criterio di tipo temporale, in quanto alcune delle quali sono “attuabili” nell'immediato, altre sono “prevedibili” e “futuribili”, rispettivamente per il breve ed il lungo termine (Figura 2).

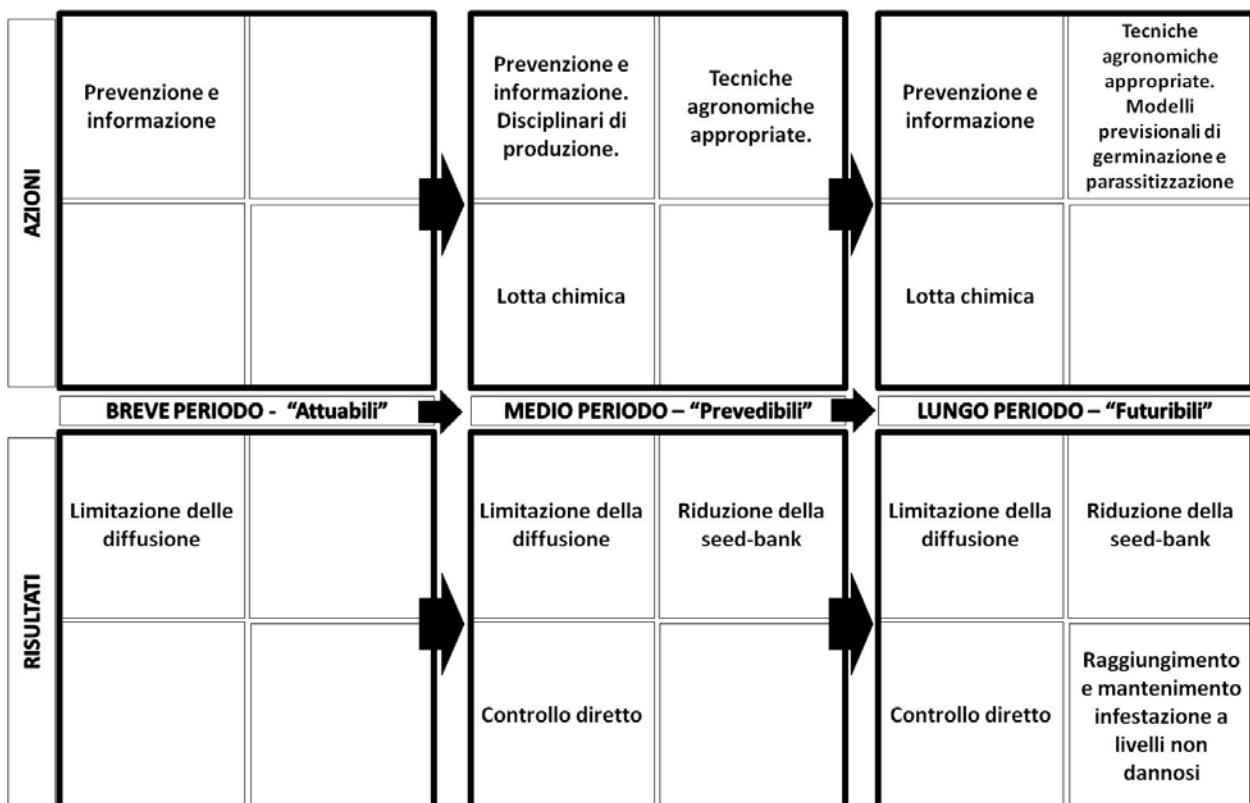


Figura 2. Ipotesi di soluzione del problema *Phelipanche ramosa* nel pomodoro.

Allo stato attuale, è possibile ed addirittura indispensabile agire secondo i criteri, precedentemente esposti, essenzialmente di tipo sia preventivo, atti ad evitare l'ingresso della parassita in aree non ancora infestate, sia riduttivo della disseminazione e della *seed bank*, nei terreni in cui è già presente; tali metodologie dovrebbero al più presto essere inserite nei Disciplinari di Produzione Integrata della regione Puglia e di altre regioni in cui la problematica è già iniziata o potrebbe cominciare. Le stesse organizzazioni di produttori di pomodoro dovrebbero farsi carico di "comunicare" un *vademecum* del tipo sopra riportato, o comunque una serie di "raccomandazioni" utili per evitare l'ulteriore diffusione della sporchia, che porti in definitiva ad una maggiore conoscenza e sensibilizzazione del problema.

Di "prevedibile", nel medio termine potrebbero diventare impiegabili uno o più erbicidi, tra quelli indicati positivamente in letteratura, attraverso l'incammino in uno dei due *iter* previsti dal Regolamento (CE) n. 1107/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari. Infatti, l'art. 51 "Estensione delle autorizzazioni per usi minori" dispone che "il titolare dell'autorizzazione, gli organismi ufficiali o scientifici che si occupano di attività agricole, le organizzazioni professionali agricole o gli utilizzatori professionali possono chiedere che l'autorizzazione di un prodotto fitosanitario già autorizzato nello Stato membro interessato sia estesa per usi minori, non ancora coperti dall'autorizzazione". Ancora, l'art. 53

concernente le “Situazioni di emergenza fitosanitaria” dispone che “in deroga all’articolo 28, in circostanze particolari uno Stato membro può autorizzare, per non oltre centoventi giorni, l’immissione sul mercato di prodotti fitosanitari per un uso limitato e controllato, ove tale provvedimento appaia necessario a causa di un pericolo che non può essere contenuto in alcun altro modo ragionevole”. Le stesse Organizzazioni di Produttori dovrebbero farsi promotori di tali *iter*.

I metodi “futuribili” sono, invece, quelli che in effetti potrebbero portare un contributo veramente importante per risolvere la problematica sporchia nelle coltivazioni di pomodoro della Capitanata, come in tante altre aree interessate da tale parassita. Certamente potrebbero consentire la “progettazione” di strategie di tipo integrato, una sorta di “mosaico” nel quale possono entrare tutte le strategie già note e quelle oggetto di ricerche in atto e future, negli ambiti agronomici, chimici, biologici ed eco-fisiologici, magari tutti assistiti dalla messa a punto di modelli previsionali di germinazione e parassitizzazione; tutto questo, ovviamente, partendo dalla consapevolezza che nessuna delle tecniche che rientrano in tali strategie, già disponibili, “prevedibili” e/o “futuribili”, è da sola pienamente risolutiva.

In definitiva, è essenziale che si inizi nell’immediato a fare qualcosa di razionale e strategico per affrontare razionalmente la problematica determinatasi a causa della *P. ramosa*; qualora non si opererà in questi termini, aumenterà sicuramente l’infestazione nei terreni in cui tale parassita è già presente, insieme alla certissima espansione in altri areali, rendendo verosimilmente nel giro di pochissimi anni non più economica la coltivazione, non solo di una così importante coltura per la regione pugliese quale è il pomodoro, ma anche di altre importanti specie orticole industriali, come il cavolfiore, il cavolo broccolo e la camomilla, anch’esse parassitizzabili.

Bibliografia

- Batchvarova R, Slavov S, Valkov V, Atanassova S, Atanassov A (1998). Control of *Orobanche* spp. by herbicides resistant crops: an example with transgenic tobacco. *Comptes rendus 6eme symposium Mediterranen EWRS*, Montpellier, France, 13-15 Mai, pp. 153-154.
- Cubero JI (1991). Breeding for resistance to *Orobanche* species: A review. In: Progress in *Orobanche* Research (Wegmann K, Musselmann LJ eds.). *Proceeding of the International Workshop on Orobanche Research*, 19-22 August 1989, Obermarchtal FRG, 257-277.
- Eizenberg H, Ephrath J, Lande T, Achdari G, Smirnov E, Hershenhorn J (2008). Developing a decision support system (DSS) for *Orobanche aegyptiaca* control in tomato. In: *5th International Weed Science Congress*, K HURLE eds, Vancouver, Canada, pp 230-231.
- Fracchiolla M, Boari A (2000). Effetti dell’infestazione di *Orobanche ramosa* sulla produzione di pomodoro e cavolfiore. *Informatore Fitopatologico* 2: 52-54.
- Klein O, Kroschel J (2002). Biological control of *Orobanche* spp. with *Phytomyza orobanchia*; a review. *BioControl* 47: 245-277.

- Linke KH, Sauerborn J, Saxena MC (1989). *Orobanche* Field Guide. F & T Mullerbader, Germany.
- Linke KH, Saxena MC (1991). Study on viability and longevity of *Orobanche* seed under laboratory conditions. In: Progress in Orobanche Research (Wegmann K, Musselmann LJ eds.). *Proceeding of the International Workshop on Orobanche Research*, 19- 22 August 1989, Obermarchtal FRG, 110-114.
- Montemurro P (2008). Pomodoro, malerbe sporadiche che tendono ad allargarsi. *Terra e Vita* 21: 62-66.
- Montemurro P (2000). *Orobanche ramosa* in espansione al Sud. *Terra e Vita* 41 (27 suppl.): 39-40.
- Montemurro P, Caramia D, Lasorella C (2003). Control of *Orobanche ramosa* L. by glyphosate in tomato. *Meeting on Biology and Control of Broomrape*, 30 October-2 November 2003, Athens, Greece, 14.
- Montemurro P, Fracchiolla M, Lasorella C, Caramia D (2005). Preliminary results on the control of *Orobanche ramosa* L. with glyphosate in tomato. In: *Proceedings 13th European Weed Research Symposium, Bari, 20-23 June*, pp. 132.
- Musa Tilal Sayed Abdelhalim (2012). Tesi di Laurea: Development and Integration of Biocontrol Products in Branched Broomrape (*Phelipanche ramosa*) management in Tomato. University of Kassel (Germany). In: <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2012101941989/3/ThesisAbdelhalimMusa.pdf>.
- Parker C, Riches CR (1993). *Parasitic Weeds of the World: Biology and Control*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 332.
- Pustovoit GV, Ilatovsky VP, Slyusar EL (1976). Results and prospects on Sunflower breeding for group immunity by interspecific hybridization. In: *Proceeding International Sunflower Conference*, Vol. I: 193-204.
- Quasem JR (1998). Chemical control of branched broomrape (*Orobanche ramosa*) in glasshouse grown tomato. *Crop protection* 17: 625-630.
- Rubiales D, Fernández-Aparicio M, Wegmann K, Joel DM (2009). Revisiting strategies for reducing the seedbank of *Orobanche* and *Phelipanche* spp. *Weed Research* 49: 23–33.
- Sahile G, Abebe G, Al-Tawaha AR (2005). Effect of soil solarization on *Orobanche* soil seed bank and tomato yield in Central Rift Valley of Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences* 1:143-147.
- Schnell H., Linke K.H., Sauerborn J. (1994). Trap cropping and its effect on yield and *Orobanche crenata* Forsk. infestation on following pea (*Pisum sativum* L.) crops. *Tropical Science* 34: 306-314.
- Sobrino-Vesperinas E (1985). Search for resistance to *Orobanche ramosa* L. in rapeseed. *Crucif. Newslett.* 10: 120 e 121.
- Vurro M, Boari A, Pilgeram AL, Sands DC (2006). Exogenous amino acids inhibit seed germination and tubercle formation by *Orobanche ramosa* (Broomrape): Potential application for management of parasitic weeds. *Biological Control* 36: 258-265.
- Zimdhal R (1993). Fundamental of weed science. *Academic Press Inc.*, New York, pp. 499.
- Zonno MC, Montemurro P, Vurro M (2000). *Orobanche ramosa*, un'infestante parassita in espansione nell'Italia meridionale. *Informatore Fitopatologico* 50: 13-21.

CASO STUDIO SULLE DINAMICHE EVOLUTIVE DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE E SULLA GESTIONE INTEGRATA: IL CASO DELLE COLTURE ARBOREE

MONTEMURRO P.¹, MIRAVALLE R.²

¹Università degli Studi di Bari (BA)

²Agronomo, libero professionista (PC)

E-mail: pasquale.montemurro@uniba.it

Riassunto

Melo, pero, drupacee, agrumi insistono su superfici importanti a livello nazionale e comunque significativamente limitate rispetto ai seminativi. Elemento comune è quindi la grande variabilità di terreni, clima, assortimento di forme di allevamento, densità d'impianto e di conseguenza, di gestione del suolo.

Queste premesse giustificano l'evoluzione della flora infestante relativamente bassa rispetto a colture come riso, mais e cereali a paglia caratterizzati da protocolli colturali semplificati. L'alta concentrazione di alcune colture in aree ristrette porta comunque a problematiche evolutive. Nei frutteti del Nord alcune malerbe stanno alzando il livello di attenzione.

In viticoltura e in olivicoltura le maggiori preoccupazioni sono dovute a *Lolium* spp. e *Conyza canadensis*.

Parole chiave

Coltivazioni arboree; Evoluzione flora; Olivo; Flora; Resistenze.

Summary

Apple, pear, stone fruits, citrus although are quite important at national level even if they are cultivated on a small acreage versus arable crops. A common trait is the great variability in term of soil, climate, plant density, cropping and soil management.

On this premise we can assume a relatively weak weed shift in comparison to rice, corn, cereals with a simplified cropping protocols. However on the North, in orchards, some weeds have reached the warning level. In vineyards and olive plantations *Lolium* spp. and *Conyza canadensis* are major issues.

Key words

Three crops, Weed shift, Olive Trees, Resistance, Weeds.

Introduzione

Le coltivazioni arboree comprendono un grande numero di specie distribuite per aree climatiche in tutto il Paese: dal pistacchio sulle pendici dell'Etna ai meli della Val Pusteria.

La diversificazione dei protocolli colturali declinata per tipo di suolo, specie coltivata, densità d'impianto, forme di allevamento è enorme, anche in conseguenza della elevata numerosità delle aziende interessate.

Tuttavia in alcune di queste, caratterizzate sia da un'ampia superficie coltivata (olivo, vite) sia da superfici più modeste (melo, pesco...), si stanno sviluppando fenomeni di evoluzione floristica tipici delle colture erbacee.

Il recente censimento generale dell'agricoltura registra una SAU di dodici milioni e ottocentocinquantamila ettari. Gli agrumi occupano 128.000 ha, i fruttiferi (melo pero, drupacee, frutta a guscio) 424.000 ha, la vite 664.000 ha e l'olivo svetta con un milione e centoventitremila ettari.

Gli agrumi sono però concentrati in quattro province siciliane e due calabresi, il melo si concentra a Bolzano, Trento, Verona, Ferrara e Cuneo. Le drupacee in quattro province in Emilia Romagna.

L'impatto della coltivazione di queste specie è quindi piuttosto alto nelle zone coinvolte, anche perché gli arboreti si configurano come colture in omosuccessione.

La vite, seppur coltivata dal livello del mare a 1000 metri di altitudine e da Pantelleria a Bressanone è comunque sempre più concentrata nei cosiddetti “distretti viticoli”, dove diventa la coltura principale. Inoltre in viticoltura la tendenza alla creazione di grandi aziende porta necessariamente ad una certa uniformità e semplificazione dei protocolli colturali, imponendo una forte pressione di selezione nei confronti della flora spontanea.

In queste condizioni diventa difficile tracciare un quadro evolutivo della flora nelle colture arboree e fatte salve alcune specifiche situazioni come quelle dell'olivo e di alcune situazioni dei fruttiferi l'evoluzione della flora infestante risulta relativamente meno complessa rispetto a colture come riso, mais e cereali a paglia caratterizzati da protocolli colturali sempre più semplificati.

Tuttavia l'alta concentrazione di alcune colture in aree ristrette porta comunque a problematiche evolutive. Nei frutteti del Nord alcune malerbe stanno aumentando la loro presenza sia in frequenza che in densità; fra queste *Acalypha virginica*, *Cyperus rotundus*, *Malva sylvestris*, *Geranium dissectum*, *Epilobium tetragonum*. In viticoltura le maggiori preoccupazioni sono causate da *Lolium* spp. e *Conyza canadensis*. In provincia di Cuneo sono sempre più frequentemente segnalate resistenze a inibitori dell'EPSP in *Lolium* spp. in vigneti e noccioleti.

Problematiche e gestione degli inerbimenti nelle colture arboree

L'adozione del diserbo chimico è relativamente limitata su molte colture. Tuttavia il diserbo sotto fila è quasi uno standard per melo e vite, mentre l'interfilare è di norma inerbito, almeno nelle regioni che fruiscono di una certa piovosità estiva o di acqua irrigua.

Si rileva che per motivazioni diverse si stanno sviluppando attrezzature meccaniche per lavorazioni sottofila, atte per lo più alla gestione della flora erbacea, piuttosto efficienti ed efficaci anche se, di norma, relativamente costose, almeno per realtà aziendali medio piccole.

Le lavorazioni superficiali ripetute sono procedure standard al centro e al sud e ormai limitate al periodo primaverile estivo. L'adozione del diserbo a pieno campo si trova soprattutto in olivo e nelle zone con roccia superficiale che ostacola le lavorazioni meccaniche.

Negli ultimi 20-25 anni il diserbo delle arboree ha visto prima l'impiego diffuso dei dipiridilici, sostituiti per ragioni normative e di efficienza dal glifosate negli anni novanta. Il glufosinate ammonio stava diventando un'alternativa, in particolare dove vi era dominanza di specie dicotiledoni. Tuttavia ragioni eco-tossicologiche lo hanno attualmente limitato nelle possibilità di impiego. Contrariamente ad altre colture, l'impiego di principi attivi antigerminello è limitato. Inoltre la disponibilità di principi attivi, già bassa, è stata recentemente limitata dai processi di revisione europei.

Questo sta portando ad un aumento della pressione di selezione poiché manca un'alternativa valida al glifosate e quindi le strategie preventive contro l'insorgere di flora di sostituzione o peggio, di resistenze, sono limitate.

Le possibilità operative contemplate dai Disciplinari di Produzione Integrata sono simili nelle diverse regioni e pongono ulteriori limiti operativi alla scarsa disponibilità di principi attivi.

In particolare non tengono in conto a sufficienza le problematiche relative alla gestione della selezione della flora infestante e della possibile resistenza, anche se negli ultimi anni molti disciplinari contemplano ad esempio, l'impiego di co-erbicidi.

L'approvazione di sostanze spollonanti quali piraflufen etile e carfentrazone etile saranno strumenti utili nella gestione delle tolleranze e delle resistenze.

Problematiche e gestione degli inerbimenti nell'olivo

L'olivo, seppur presente sul Garda, in realtà è concentrato in zone determinate del Centro mentre in certe province meridionali rappresenta la coltura principale. La superficie coltivata è doppia di quella del vigneto, e quindi anche se si seguono percorsi colturali meno intensivi influenza molto il comportamento biotico delle aree olivate.

La coltivazione dell'olivo è molto diffusa nel Salento. Infatti, dei 170.234 ettari di Superficie Agricola Utilizzabile della provincia di Lecce, ben 82.500 (48,5%) sono destinati alla coltivazione dell'olivo, che riesce così a ricoprire più dell'80% della superficie complessiva provinciale destinata alle specie arboree. Gli oliveti costituiscono anche un elemento caratterizzante il paesaggio agrario del Salento, tale da costituire un vero e proprio "bosco di olivi" di circa 9 milioni di piante. Di queste ben oltre il 60% ha un'età compresa tra 25 e 100 anni, il 30% supera il secolo e/o è ultra secolare, mentre la parte rimanente è rappresentata da impianti realizzati negli ultimi 20 anni. Gli oliveti insistono in un territorio il cui clima risente dell'azione mitigatrice del mare; infatti, la temperatura stagionale è in media di 14,8 °C, con valori minimi medi di 6,4°C e massimi di 24°C. La piovosità è scarsa (751,36 mm) e non uniforme, essendo gli eventi piovosi concentrati prevalentemente nel periodo autunnale ed invernale. Attualmente, l'olivicoltura salentina è strutturata secondo due tipologie, una delle quali è appunto "tradizionale" e l'altra è quella "specializzata". La prima occupa terreni non irrigui e, di sovente, l'olivo è consociato con altre colture arboree e/o erbacee e/o orticole; gli oliveti sono caratterizzati da sesti di impianto sia irregolari sia regolari, anche se variabili nelle distanze di impianto. Così, in alcune zone predomina la distanza di 15x15m tra le piante, in altre la 12x12m, ed in altre ancora la 10x10m, sino a trovare, in alcune zone, oliveti con sesti di impianto particolarmente "stretti" (7x7m), impiantati su terreni molto fertili, situati in microzone con condizioni climatiche vantaggiose sia per esposizione, che per ventosità e con ordinamenti colturali moderni. Nell'olivicoltura tradizionale, con olivi di grossa mole caratterizzati da produzioni elevate, particolarmente diffusa ancora oggi è la raccolta da terra eseguita a mano o con l'ausilio di raccoglitrice scopatrici, fatto che richiede appunto la preparazione delle piazzole di raccolta ed il successivo diserbo per mantenerle sgombre da malerbe. Nei nuovi impianti, in cui la coltura è specializzata, la densità di piante per ettaro è più alta (più di 200 piante), mentre la forma di allevamento dominante è il vaso con 2 o 3 branche principali; tali impianti, allevati a vaso libero basso, sono in genere condotti in irriguo, secondo tecniche avanzate e con meccanizzazione delle pratiche colturali, in particolare della raccolta dei frutti dalla pianta. Negli oliveti tradizionali, dove le lavorazioni del terreno costituiscono la pratica più diffusa, durante il periodo autunno invernale è l'*Oxalis pes-caprae* L. la specie predominante, alla quale si accompagnano malerbe a foglia larga come la *Diplotaxis erucoides* (L.) DC., la *Calendula arvensis* (Vaill.) L., il *Cirsium arvense* (L.) Scop., la *Stellaria media* (L.) Vill., il *Sonchus oleraceus* L. e il *S. asper* (L.) Hill, il *Silybum marianum* (L.) Gaertn., la *Fumaria officinalis* L., la *Veronica hederifolia* L. e *Malva* spp., e le graminacee *Lolium rigidum* Gaudin ed *Avena sterilis* L.. Nel corso della stagione primaverile-estiva, emergono tra le dicotiledoni l'*Amaranthus retroflexus* L., il *Chenopodium album* L., la *Portulaca oleracea* L., il *Convolvulus arvensis* L. e la *Conyza*

canadensis (L.) Cronq., e la *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., l'*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., la *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., l'*Agropyron repens* (L.) P. Beauv. ed il *Cynodon dactylon* (L.) Pers., tra le erbe a foglia stretta. Negli impianti moderni, dove è più frequente l'impiego degli erbicidi e dove recentemente è aumentata la superficie condotta con il sistema della "non lavorazione", il quadro floristico risulta più semplificato e composto prevalentemente da *O. pes-caprae* nella stagione invernale e da *Malva* spp. e *C. canadensis* in quella primaverile-estiva, le quali tendono a concentrarsi durante la stagione estiva, solitamente molto secca, nella zona di terreno bagnata dai gocciolatori, essendo l'irrigazione a goccia notoriamente quella più praticata. La gestione della flora infestante sia negli oliveti moderni sia in quelli tradizionali, anche se limitata alle piazzole di raccolta, è quasi totalmente affidata al mezzo chimico, in particolare a formulati ad applicazione fogliare a base di glifosate e glufosinate-ammonium, ed ultimamente anche contenente carfentrazone-ethyl, tra gli erbicidi sistemici totali, o a distribuzione suolo includenti oxyfluorfen, oxadiazon e, di recente, flazasulfuron. Da pochi anni a questa parte, la problematica malerbologica sicuramente più importante ed evidente degli oliveti salentini è quella determinata dalla *C. canadensis*, una specie che si sta espandendo notevolmente. Nel presente lavoro si è inteso in primo luogo approfondire le motivazioni dell'aumento dell'inerbimento di questa malerba, indicandone le probabili cause. Quindi, vengono ipotizzate proposte sulle possibili soluzioni al problema.

Dinamica evolutiva della *Conyza canadensis*

Nativa dell'Asia (Stace, 1997), dell'America del Nord secondo Weaver (2001), introdotta in Europa dal XVII secolo, la *C. canadensis* (= *Erigeron canadensis* L.), volgarmente chiamata saeppola canadese, è diventata ben presto cosmopolita, in quanto ne è stata accertata la capacità di infestare oltre 40 colture in diverse parti del mondo. Ma la grande espansione di questa malerba negli oliveti salentini è dovuta sia ad alcune sue caratteristiche bio-ecologiche sia ad una irrazionale gestione del diserbo chimico, determinata anche da alcune norme inserite nei Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Puglia.

***Conyza canadensis*: caratteristiche, cause evolutive e tecniche di lotta**

La produttività media di semi formati da una singola pianta è stata calcolata in una misura variabile tra 25.000 e 60.000 da Stevens (1957), tra 38.000 a 60.000 da Salisbury (1961) e fino a 200.000 da Weaver (2001); la produttività sembra correlata all'altezza raggiunta dalla pianta madre: se alta 40 cm genera circa 2.000 semi, mentre se raggiunge 150 cm ne forma intorno a 230000 (Regehr e Bazzaz, 1979; Smisek, 1995). I semi sono piccoli (1-2 mm di lunghezza), leggerissimi, con un peso dei 1000 semi variabile tra 0,0052 e 0,0072 g (Palmblad, 1968), trasparenti e provvisti di pappo

(lungo 3-5 mm di colore bianco sporco), grazie al quale sono dispersi a lunghe distanze dal vento ed anche dall'acqua, compresa quella d'irrigazione (Thebaudet et al., 1996). Generalmente, il massimo dell'emergenza proviene dai semi localizzati nei primi 1-2 cm di terreno e si verifica durante l'autunno, mentre solo una piccola frazione di individui può emergere anche in primavera, produrre semi e morire nello stesso anno. Le piante nate nel periodo autunnale trascorrono l'inverno allo stadio di rosetta. La saeppola è capace anche in soli 100 giorni di svolgere il suo ciclo completo dalla germinazione fino alla disseminazione (Guyot et al., 1962). È una specie essenzialmente di tipo ruderale, per cui oltre che i campi coltivati, inerbisce incolti di tutti i tipi, dune sabbiose, bordi stradali e ferroviari, compresi i prati ed i pascoli, anche perché gli animali la scartano per il suo sapore amarognolo; riguardo al rapporto con l'acqua, sopporta molto bene la siccità, ma non tollera gli eccessi idrici nel terreno.

L'incremento dell'inerbimento negli oliveti salentini sembra sia stato favorito dalla pratica della "non o minima lavorazione"; infatti, il massimo dell'emergenza proviene dai semi localizzati nei primi 2 cm di terreno. Un'altra motivazione della diffusione può derivare pure dalla sua capacità di ricacciare se tagliata nella fase di accrescimento. Nelle coltivazioni di olivo del leccese, negli ultimi anni la *C. canadensis* è entrata a far parte di una flora di sostituzione, soprattutto a causa della sua insensibilità a diversi degli erbicidi utilizzati e/o alla necessità di impiegare dosi molto elevate, e quindi costose, di quelli in grado di controllarla; recentemente, poi, in alcune migliaia di ettari del leccese è stata accertata per alcune popolazioni di saeppola canadese la resistenza al glifosate. Le cause sono sicuramente dovute, naturalmente, ad un impiego continuato per 20-30 anni, applicando il diserbante anche 2-3 volte all'anno. Ancora, le strategie "solo fogliari" e con dosaggi limitati scelte da chi ha aderito ai Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Puglia (al momento attuale è contingentato in 9 l/ha per anno, con formulati al 30,4% di s.a.) sono da considerarsi come concause. Infatti, dovendo "coprire" pressoché interamente l'intero periodo di vegetazione, spesso diventano necessari tre se non quattro trattamenti diserbanti.

Certamente c'è da agire a livello del mezzo chimico, utilizzando ed osservando i principi che "governano" un diserbo razionale, alternando e miscelando erbicidi con meccanismo d'azione differente, evitando ovviamente il glifosate specialmente nelle zone a rischio resistenza; deve essere previsto anche l'utilizzo di erbicidi residuali a complemento dei post-emergenza. I trattamenti erbicidi in post, poi, devono essere eseguiti quando la *C. canadensis* si trova al massimo allo stadio di rosetta, rispettando le dosi indicate in etichetta, in quanto il sottodosaggio crea le premesse per la selezione di popolazioni resistenti. Altra opzione deve essere quella di passare il più possibile ad una gestione integrata, in cui gli interventi con i diserbanti devono essere limitati allo spazio sottilare, operando lo sfalcio o la trinciatura nell'interfilare: è stato dimostrato da Weaver (2001)

che i residui dello sfalcio o del trinciato possono ridurre l'inerbimento della saeppola canadese. Nelle zone interessate da resistenza al glifosate, poi, andrebbero riviste le norme del Disciplina Regionale di Produzione Integrata della Puglia: la strategia del solo "fogliare" dovrebbe essere attentamente rivalutata, proponendo semmai l'integrazione fogliari-residuali; in ogni caso, è necessario evitare la disseminazione intervenendo chimicamente o meccanicamente.

Un'altra possibilità sfruttabile anche negli impianti non irrigui potrebbe essere quella di inerrire artificialmente gli interfilari: il *Trifolium subterraneum* L. ad esempio, ha mostrato in diverse sperimentazioni di potersi ben adattare agli ambienti meridionali; ancora potrebbe essere seminata la segale i cui residui sembrano ridurre la germinazione della saeppola canadese (Weaver, 2001).

La problematica della diffusione della *C. canadensis* richiede la messa in atto di pratiche che innanzitutto riducano le sue possibilità di formare semi. L'opzione del "solo erbicidi di post" deve essere assolutamente cambiata, passando a quella del "fogliare-residuale", strategia che permette di impiegare sostanze attive con meccanismi d'azione differenti tra loro, specialmente nelle zone già interessate dal fenomeno della resistenza al glifosate. Altrettanto, è consigliabile passare a strategie di tipo integrato, limitando l'uso del mezzo chimico al solo spazio sottofilare, gestendo l'inerbimento dell'interfilare con lavorazioni meccaniche superficiali o con lo sfalcio o meglio ancora con la trinciatura.

Conclusioni

La diffusione di *Conyza canadensis* appare ormai epidemica in tutto il sud. Inoltre dall'olivo si sta estendendo a vite ed altre colture arboree.

La presenza accertata di biotipi resistenti a erbicidi inibitori dell'EPSP in Puglia richiede una grande attenzione poiché l'olivo ha pochi erbicidi ammessi e ciò complica le strategie di gestione soprattutto nelle zone a roccia affiorante, dove i mezzi meccanici non riescono ad operare.

Altro punto meritevole di attenzione è la segnalata presenza di *Lolium* spp. resistente ad inibitori di EPSP in vigneti piemontesi. Nelle piante del genere *Lolium* sono già stati accertati in centro e sud Italia parecchi casi di resistenza ad ALS e ACCasi. In queste situazioni diventa essenziale implementare strategie di gestione per impedire la formazione di resistenze incrociate e di multiresistenze.

Con le informazioni odierne le colture a maggior rischio sono olivo e vite anche a causa del loro ciclo vitale lungo oltre che alla già citata concentrazione in aree determinate.

Bibliografia

- Guyot L, Guillemat J, Becker Y, Barallis G, Demozay D., Le Nail F (1962). Shade avoidance and shade tolerance in flowering plant II. Effects of light on the germination of species of contrasted ecology. Blackwell Scientific Publ., Oxford, 525-53.
- Palmblad LG (1968). Competition in experimental populations of weeds with emphasis on the regulation of population size. *Ecology* 49: 26-34.
- Regehr DL, Bazzaz FA (1979). The population dynamics of *Erigeron canadensis*, a successional winter annuals. *Journal of Ecology* 67: 923-933.
- Salisbury EJ (1961). Weeds & Aliens. New Naturalist Series, Collins, London.
- Smisek A (1995). Resistance to Paraquat in *Erigeron canadensis* L. MSc. Thesis, University of Western Ontario. London, On. pp. 102.
- Stace C (1997). New flora of the British Isles. 2nd edition: Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Stevens O A (1957). Weights of seeds and numbers per plant. *Weeds* 5: 46-55.
- Thebaudet C, Finzi AC, Affre L (1996). Assessing why two introduced *Conyza* differ in their ability to invade Mediterranean old fields. *Ecology* 77: 791-804.
- Weaver SE (2001). The biology of Canadian weeds. *Conyza canadensis*. *Canadian Journal of Plant Science* 81: 867-875.

INDICE DEGLI AUTORI

ALLEGRI A.....	107, 121
BARTOLINI D.	107, 121
CAMPAGNA G.....	69
COLLAVO A.....	57
FERRERO A.....	1
FRACCHIOLLA M.....	137
GEMINIANI E.....	69
MAGGIORE T.....	1
MARIANI L.....	29
MASIN R.	29
MILAN M.....	1
MIRAVALLE R.	149
MONTEMURRO P.....	137, 149
PANNACCI E.....	29
PANOZZO S.....	57
SATTIN M.....	57
SCARABEL L.	57
VIDOTTO F.....	29
ZANIN G.	1